

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INFORMACIÓN

Departamento de Comunicación Audiovisual y Publicidad I



TESIS DOCTORAL

**Análisis y prospectiva de las tecnologías para la televisión digital en
movilidad**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Javier Martín López

DIRECTOR

Hipólito Vivar Zurita

Madrid, 2016

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INFORMACIÓN

Departamento de Comunicación Audiovisual y Publicidad I



**ANÁLISIS Y PROSPECTIVA DE LAS
TECNOLOGÍAS PARA LA TELEVISIÓN
DIGITAL EN MOVILIDAD**

**MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR
PRESENTADA POR**

Javier Martín López

Bajo la dirección del doctor

Hipólito Vivar Zurita

Madrid, 2015



TESIS DOCTORAL

**ANÁLISIS Y PROSPECTIVA DE LAS
TECNOLOGÍAS PARA LA TELEVISIÓN
DIGITAL EN MOVILIDAD**

Realizada por: Javier Martín López
Dirigida por: Dr. Hipólito Vivar Zurita
Departamento: CAVP I, Universidad Complutense de Madrid
2 de junio de 2015

*Esta tesis está dedicada a mi familia y en especial a mi padre
por su apoyo, insistencia y ánimos para que la realizara.*

Agradecimientos

Esta tesis ha sido posible gracias al apoyo del Departamento de Comunicación Audiovisual y Publicidad I de la Universidad Complutense de Madrid. Y especialmente:

Al Dr. Hipólito Vivar Zurita por su paciencia a lo largo de estos años, su apoyo personal y profesional, su experiencia, su orientación y ánimo.

Al Dr. Alberto García García por su apoyo, amabilidad, comprensión y cercanía.

A Beatriz Tovar Ramírez por su disponibilidad y ayuda.

Gracias también a mis compañeros de la Delegación del CSIC en la Comunidad Valenciana y en especial al Dr. José Pío Beltrán Porter por su apoyo.

Gracias a mis compañeros y amigos de televisión y docencia Manuel Caballero Bono y Dr. Esteban M. Stepanian Taracido por sus ánimos y por todo lo que he aprendido de ellos a lo largo de los años.

A Ricardo Sanz y Tur por sus incisivas y precisas sugerencias de última hora.

A Alina Vélez Nadolu por sus ánimos, apoyo y sus consejos sobre diseño y maquetación.

A los amigos que abrieron camino: Dr. Pedro Plasencia Lozano y Dra. Ariadna Cánovas Rivas. Y a los que comparten el camino: Javier Naya Monteoliva.

A todos mis amigos y en especial a Antonio Serrano Rubio, Juan José Basco Blázquez, Ignacio Amutio Narro y Sergio Cánovas Rivas.

A todos aquellos que me han ayudado y apoyado en este trabajo.

ÍNDICE

ÍNDICE	9
PALABRAS CLAVE	19
RESUMEN	21
ABSTRACT	23
INTRODUCCIÓN	25
OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN	25
OBJETIVOS DEL TRABAJO	25
JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	27
ESTRUCTURA DEL TRABAJO	31
METODOLOGÍA	34
CAPÍTULO 1. ESTADO DE LA CUESTIÓN Y MARCO CONCEPTUAL	37
1.1. INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA DE LA TELEVISIÓN	37
1.1.1. La televisión analógica	38
1.1.1.1. Los primeros sistemas electrónicos	38
1.1.1.2. La televisión en color	39
1.1.2. La televisión digital	40
1.1.3. La televisión de alta definición	42
1.2. VÍAS DE DIFUSIÓN DE LA TELEVISIÓN	44
1.2.1. La televisión analógica herciana y la televisión analógica por satélite	44
1.2.2. La televisión analógica por cable	46
1.2.3. La televisión digital por cable	46
1.2.4. La televisión digital por satélite	47
1.2.5. La televisión digital por tecnologías IP	48
1.2.6. La televisión digital terrestre	49
1.3. LA TELEVISIÓN DIGITAL EN MOVILIDAD	50
1.3.1. Introducción a la televisión digital en movilidad	50
1.3.1.1. Un nuevo medio	53
1.3.1.1.1. Nuevas características	54
1.3.1.1.2. Nuevas posibilidades	56
1.3.1.1.3. Nuevos estándares	57
1.3.1.1.4. Nuevos recursos	58
1.3.1.2. Nuevos contenidos	60
1.3.1.2.1. Contenido creado por los usuarios	62
1.3.1.2.2. Vídeo bajo demanda	63
1.3.1.2.3. Servicios para adultos	63
1.3.1.2.4. Piezas de vídeo o clips	63
1.3.1.3. Servicios interactivos	64
1.3.1.3.1. Flash Cast	65
1.3.1.3.2. Descargas de música y vídeo	67

1.3.1.3.3. Podcasting.....	67
1.3.1.4. Plataformas	68
1.3.1.4.1. Unicast y broadcast.....	68
1.3.1.4.2. Televisión en directo vs contenido interactivo	68
1.3.1.5. Plataformas de desarrollo y de difusión	69
1.3.1.6. Adaptación de contenidos para su difusión.....	70
1.3.1.7. Software para crear contenidos	71
1.3.1.8. Nuevas vías para obtener beneficios	72
1.3.2. Implantación de la televisión digital en movilidad en el mundo	74
1.3.2.1. Japón	76
1.3.2.2. Italia	79
1.3.2.3. Alemania	79
1.3.2.4. Países Bajos	80
1.3.2.5. Estados Unidos	80
1.3.2.6. China.....	82
1.3.2.7. Hong Kong.....	85
1.3.2.8. La India.....	85
1.3.3. Implantación de la televisión digital en movilidad en España	87

CAPÍTULO 2. MARCO TECNOLÓGICO GENERAL.....91

2.1. EVOLUCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS MULTIMEDIA DIGITAL	91
2.1.1. La imagen	92
2.1.1.1. El tamaño de los archivos de imagen.....	92
2.1.1.2. Resoluciones y formatos de imagen.....	93
2.1.1.3. Compresión de imágenes	96
2.1.1.3.1. JPEG	96
2.1.1.3.2. GIF	98
2.1.1.3.3. BMP	98
2.1.2. El vídeo	99
2.1.2.1. La generación de la señal de vídeo: el escaneado	100
2.1.2.2. Escaneado entrelazo y progresivo.....	101
2.1.2.3. El color.....	103
2.1.3. Formatos de televisión analógica	105
2.1.4. Formatos de televisión digital	105
2.1.5. Técnicas de reducción de la tasa de transmisión de bits.....	109
2.1.5.1. El escalado	109
2.1.5.2. La compresión.....	109
2.1.5.3. MPEG	113
2.1.6. Estándares de compresión.....	113
2.1.6.1. MPEG-1	113
2.1.6.2. MPEG-2	114
2.1.6.3. MPEG-4	115
2.1.7. Multimedia e interactividad con MPEG-4.....	116
2.1.8. Aplicaciones de MPEG-4.....	118
2.1.9. H.264/AVC (MPEG-4 part 10)	118
2.1.10. AVS (China)	122
2.1.11. Archivos de vídeo.....	123
2.1.11.1. Windows AVI .avi	123
2.1.11.2. Windows Media .wmv	124
2.1.11.3. MPEG .mpg	125
2.1.11.4. QuickTime .mov	125
2.1.11.5. RealMedia .rm.....	126
2.1.11.6. Flash Video .flv.....	127
2.1.11.7. DivX	127
2.1.11.8. MKV	128
2.1.11.9. XVID	129
2.1.11.10. MXF.....	129

2.1.12. Archivos contenedor	130
2.1.12.1. Conversores	131
2.1.13. Codificación de audio	131
2.1.13.1. Muestreo	132
2.1.14. Compresión de audio	134
2.1.14.1. MPEG	135
2.1.14.2. AMR-WB+	137
2.1.14.3. Códecs propietarios	138
2.1.15. Streaming.....	138
2.1.16. Formatos de archivo multimedia digital	141
2.2. EVOLUCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA TELEFONÍA MÓVIL	142
2.2.1. (1G) Primera generación de sistemas de telefonía móvil.....	143
2.2.2. (2G) Segunda generación de sistemas de telefonía móvil (GSM).....	144
2.2.2.1. Tecnología GPRS.....	146
2.2.2.2. Redes EDGE (2.5G).....	148
2.2.3. Tecnologías basadas en CDMA	148
2.2.3.1. Tecnologías 2G: cdmaOne.....	149
2.2.3.2. Servicios 2.5G y 3G CDMA (CDMA2000).....	150
2.2.4. (3G) Tercera generación de sistemas de telefonía móvil	150
2.2.4.1. Redes 3G.....	151
2.2.5. Tecnologías 3G: GSM y CDMA	152
2.2.5.1. EV-DO	154
2.2.6. HSDPA (3.5G)	155
2.2.7. (4G) Cuarta generación de sistemas de telefonía móvil.....	156
2.2.8. Difusión de datos y multimedia en redes móviles.....	157
2.2.9. Difusión de datos y multimedia en redes móviles 3G.....	160
2.2.9.1. UMTS/WCDMA.....	160
2.2.10. Especificidades por países	161
2.2.10.1. Europa.....	161
2.2.10.2. Estados Unidos.....	163
2.2.10.3. Japón	165
2.2.10.4. Corea del Sur	166
2.2.10.5. China.....	167
2.2.10.6. La India	167
2.2.10.7. España.....	168
2.3. EL STREAMING Y LA MULTIMEDIA EN MOVILIDAD	169
2.3.1. Multimedia en Movilidad	169
2.3.1.1. 3GPP	169
2.3.1.2. Codificación de audio y vídeo	169
2.3.1.3. Tamaños de pantallas y resoluciones	170
2.3.1.4. Formatos de archivos	170
2.3.1.5. Transmisión	170
2.3.1.6. Servicios y protocolos de transferencia.....	171
2.3.1.7. Animaciones y gráficos.....	171
2.3.2. Dispositivos móviles y acceso a contenidos multimedia	172
2.3.2.1. Internet móvil y .mobi.....	173
2.3.3. Formatos de archivos para multimedia en movilidad	174
2.3.3.1. Estándares 3GPP.....	174
2.3.3.2. Redes móviles 3GPP	174
2.3.4. Formatos de multimedia en movilidad 3GPP.....	176
2.3.4.1. El streaming en movilidad	176
2.3.4.2. Sistema Multimedia IP (IMS)	177
2.3.4.3. Archivos 3GPP	178
2.3.4.4. Archivos ISO	179
2.3.5. Vídeo en Internet	180
2.3.5.1. YouTube	181

2.3.5.2. Google Video	182
2.3.5.3. Apple HTTP Live Streaming	182
2.3.6. Flash Lite	182
2.3.7. DivX móvil.....	183
2.3.8. Microsoft Silverlight.....	184
2.3.9. Rich Media-SMIL (Synchronized Multimedia Integration Language)	185
2.3.10. Difusión de contenidos multimedia en movilidad	186
2.3.10.1. Dispositivos	186
2.3.10.2. Streaming en redes 3G	187
2.3.10.3. Rich Media y 3GPP	187
2.3.10.4. MMS en 3GPP	188
2.3.10.5. Redes móviles con contenido 3GPP	188
2.3.10.6. Formatos para difusión en redes de televisión en movilidad	189
2.3.10.7. Difusión de contenidos con Flash Lite.....	189
2.3.10.8. Versiones superiores de 3GPP	190
2.3.11. Animaciones y gráficos en un entorno de multimedia en movilidad	191
2.3.11.1. Gráficos.....	191
2.3.11.2. Gráficos Vectoriales Redimensionables (SVG).....	192
2.3.11.3. Animaciones y aplicaciones.....	192
2.3.11.4. Adobe Flash Lite.....	193
2.3.11.5. Java Micro Edition.....	193
2.3.12. Aplicaciones para multimedia en movilidad.....	194
2.3.12.1. Acceso a la web desde dispositivos móviles	195
2.3.12.2. Navegadores para dispositivos móviles	196
2.3.13. La Open Mobile Alliance (OMA)	196
2.3.14. Compendio de formatos multimedia en movilidad	198

CAPÍTULO 3. TECNOLOGÍAS PARA LA TELEVISIÓN DIGITAL EN MOVILIDAD 199

3.1. INTRODUCCIÓN A LAS TECNOLOGÍAS DE LA TELEVISIÓN DIGITAL EN MOVILIDAD.....	199
3.1.1. Desafíos tecnológicos de la televisión digital en movilidad	200
3.1.1.1. Ancho de banda.....	200
3.1.1.2. Tamaño de pantalla	201
3.1.1.3. Consumo energético.....	201
3.1.1.4. Movilidad del receptor	202
3.1.2. Vías de desarrollo para la televisión digital en movilidad	202
3.1.2.1. Redes de telefonía móvil.....	205
3.1.2.2. Redes terrestres de difusión de televisión	206
3.1.2.3. Sistemas de difusión híbridos satélite-terrestre	208
3.1.2.4. Redes wireless.....	208
3.1.3. Estándares de radiodifusión para la televisión digital en movilidad	210
3.1.3.1. Tecnologías 3G	210
3.1.3.2. Tecnologías terrestres	213
3.1.3.3. DVB-T	217
3.1.3.4. ATSC	219
3.1.3.5. DVB-H.....	220
3.1.3.6. DAB	222
3.1.3.7. DMB	224
3.1.3.8. CMMB y CDMB	225
3.1.3.9. MediaFLO.....	227
3.1.3.10. ISDB-T.....	229
3.1.4. Distribución de las tecnologías por países.....	230
3.1.5. Comparativa de los estándares de radiodifusión para la televisión digital en movilidad..	232

3.2. INFRAESTRUCTURA PARA LA IMPLANTACIÓN DE LA TELEVISIÓN DIGITAL EN

MOVILIDAD Y ESPECTRO RADIOELÉCTRICO	236
3.2.1. El espectro radioeléctrico	237
3.2.1.1. Frecuencias para servicios 2G.....	238
3.2.1.2. Frecuencias para servicios 3G.....	238
3.2.2. Las WRCs.....	239
3.2.3. El espectro radioeléctrico para la televisión digital en movilidad	242
3.2.3.1. Radiodifusión terrestre.....	245
3.2.3.2. El espectro para DVB-H.....	246
3.2.3.3. El espectro para T-DMB.....	246
3.2.3.4. Radiodifusión por satélite	247
3.2.3.5. El espectro para los servicios 3G	247
3.2.4. Asignación de frecuencias por países	249
3.2.4.1. Europa. UMTS.....	250
3.2.4.2. Servicios TDtv	250
3.2.4.3. Estados Unidos	251
3.2.4.4. El espectro para MediaFLO	252
3.2.4.5. Corea del Sur	253
3.2.4.6. La India.....	253
3.2.4.7. El espectro para WiMAX.....	255
3.3. DISPOSITIVOS PARA LA TELEVISIÓN DIGITAL EN MOVILIDAD.....	256
3.3.1. Los chips para la televisión digital en movilidad.....	256
3.3.2. Funciones multimedia de los teléfonos móviles	257
3.3.3. Requerimientos técnicos de los chips para la televisión digital en movilidad.....	258
3.3.4. Seguridad en los teléfonos móviles. La tarjeta SIM.....	261
3.3.5. Tendencias y clasificación de los teléfonos móviles.....	261
3.3.6. Diseños de chips	262
3.3.6.1. Chips para 3G	264
3.3.6.2. Chips para HSPA+.....	266
3.3.6.3. Chips para DVB-H.....	266
3.3.6.4. Chips para DVB-SH	267
3.3.6.5. Chips para ATSC	267
3.3.6.6. Chips para MediaFLO.....	268
3.3.6.7. Chips para DAB	268
3.3.6.8. Chips para DMB	269
3.3.6.9. Chips para ISDB-T	270
3.3.6.10. Chips para CMMB.....	270
3.3.6.11. Chips para servicios GPS.....	270
3.3.7. Sistemas operativos y software	271
3.3.8. Aplicaciones.....	271
3.3.9. El software en los teléfonos móviles.....	274
3.3.10. El sistema operativo en los dispositivos móviles.....	276
3.3.10.1. Symbian	278
3.3.10.2. Linux.....	280
3.3.10.3. Garnet OS	281
3.3.10.4. Windows Mobile.....	283
3.3.10.5. BREW	284
3.3.10.6. Android	285
3.3.10.7. iOS	287
3.3.10.8. Blackberry OS.....	290
3.3.11. El middleware en los teléfonos móviles	292
3.3.12. Aplicaciones en los teléfonos móviles	293
3.3.13. Funciones del software para aplicaciones.....	294
3.3.13.1. Java Virtual Machine	295
3.3.14. Dispositivos para la televisión digital en movilidad y los servicios multimedia.....	296
3.3.15. Tipos de dispositivos receptores	298
3.3.16. Características de los dispositivos Rich Multimedia.....	299
3.3.16.1. Características de los teléfonos móviles multimedia	300

3.3.17. Arquitectura de los teléfonos móviles.....	302
3.3.18. Dispositivos para 3G.....	304
3.3.18.1. Dispositivos HSDPA	306
3.3.18.2. Dispositivos CDMA.....	307
3.3.19. Dispositivos para radiodifusión terrestre	308
3.3.19.1. Dispositivos T-DMB.....	308
3.3.19.2. Dispositivos DVB-H.....	310
3.3.19.3. Dispositivos ATSC M/H.....	311
3.3.19.4. Dispositivos MediaFLO	311
3.3.19.5. Dispositivos ISDB-T.....	312
3.3.20. Dispositivos satélite-terrestre	313
3.3.20.1. Dispositivos S-DMB	314
3.3.21. Dispositivos CMMB.....	314
3.3.22. Dispositivos para WiMAX	315
3.3.23. Navegadores	317
3.3.24. Interoperabilidad en la Televisión Digital en Movilidad.....	318
3.3.24.1. Roaming	320
3.3.24.2. Interoperabilidad de los servicios multimedia	322
 CAPÍTULO 4. ESTÁNDARES TECNOLÓGICOS PARA LA TELEVISIÓN DIGITAL EN MOVILIDAD	 325
4.1. EL ESTÁNDAR 3G.....	325
4.1.1. Las redes 3G.....	325
4.1.2. Streaming para dispositivos móviles	327
4.1.2.1. Streaming vs descarga.....	329
4.1.2.2. Unicast y Multicast	329
4.1.2.3. 3GPP, Flash Video y RealVideo.....	330
4.1.3. Capacidad de las redes de telefonía móvil para difundir televisión digital en movilidad..	330
4.1.3.1. Capacidades de las redes 3G	330
4.1.3.2. Capacidad de las redes HSDPA	331
4.1.4. Streaming en 3G	331
4.1.5. Streaming en 3GPP. Packet-Switched	332
4.1.6. Difusión a redes 3GPP.....	335
4.1.7. Plataformas de streaming	336
4.1.7.1. QuickTime	336
4.1.7.2. Model 4Caster.....	336
4.1.7.3. Vidiator Xenon	336
4.1.8. Implementación de servicios de vídeo en redes 3G	336
4.1.8.1. Tasa de transmisión de datos	337
4.1.8.2. Fast Channel Switching	338
4.1.8.3. Streaming RealVideo	339
4.1.8.4. Streaming Windows Media.....	339
4.1.8.5. Descarga de Flash Video Lite	339
4.1.8.6. Streaming DivX	339
4.1.8.7. MobiTV	340
4.1.8.8. Redes de difusión de contenidos o Content Delivery Networks	340
4.1.9. Multimedia Broadcast Multicast Service MBMS	340
4.1.10. Servicios basados en redes CDMA	342
4.1.11. Otros servicios multimedia de las redes 3G.....	343
4.1.11.1. UMTS y Calidad de Servicio (QoS)	343
4.1.12. Televisión digital en movilidad por Wi-Fi	344
4.1.13. Implementación del estándar 3G.....	344
4.1.13.1. España.....	347
 4.2. LOS ESTÁNDARES DMB Y CMMB	 348
4.2.1. El sistema DMB.....	348

4.2.1.1. El sistema DAB	349
4.2.2. Servicios DMB por satélite y terrestres.....	353
4.2.3. El servicio DMB en Corea del Sur.....	354
4.2.4. Características tecnológicas de T-DMB.....	355
4.2.5. Características tecnológicas de S-DMB	357
4.2.6. Implementación del sistema DMB.....	358
4.2.7. El sistema CMMB.....	361
4.2.7.1. Características tecnológicas de CMMB	362
4.2.8. El sistema DTMB	363
4.3. EL ESTÁNDAR ATSC M/H	363
4.3.1. El sistema ATSC	363
4.3.2. La OMVC (Open Mobile Video Coalition).....	365
4.3.3. Características tecnológicas de ATSC M/H.....	365
4.3.4. Tipos de contenido, codificación y capacidad.....	367
4.3.4.1. Vídeo.....	367
4.3.4.2. Audio	368
4.3.4.3. Multiplexado de canales.....	369
4.3.5. Transmisión de señal en ATSC.....	370
4.3.6. Redes de transmisión ATSC	370
4.3.7. Transmisión de datos en ATSC M/H	371
4.3.8. Servicio de Guía Electrónica ESG.....	371
4.3.9. Implementación del estándar ATSC M/H	372
4.4. EL ESTÁNDAR MEDIAFLO	373
4.4.1. El sistema MediaFLO	373
4.4.2. Características tecnológicas de MediaFLO	375
4.4.3. Capacidades del sistema	376
4.4.4. Transmisión de MediaFLO	377
4.4.5. Servicio de Guía Electrónica (ESG)	377
4.4.6. Implementación del sistema MediaFLO	378
4.5. EL ESTÁNDAR ISDB-T 1 SEG.....	379
4.5.1. El sistema 1 Seg.....	379
4.5.2. Características tecnológicas de 1 Seg	380
4.5.3. Transmisión jerárquica.....	382
4.5.4. Codificación multimedia	383
4.5.4.1. Codificación de vídeo	384
4.5.4.2. Codificación de audio	384
4.5.5. El sistema de transmisión 1 Seg.....	386
4.5.5.1. Recepción parcial y consumo de batería.....	387
4.5.6. Televisión en 1 Seg	388
4.5.6.1. Servicio de alerta de emergencias	388
4.5.7. Implementación del sistema 1 Seg	389
4.6. EL ESTÁNDAR WIMAX.....	389
4.6.1. El sistema WiMAX	389
4.6.2. Características tecnológicas de WiMAX.....	390
4.6.3. Televisión en WiMAX	395
4.6.4. Receptores y terminales.....	398
4.6.5. WiBro.....	398
4.6.6. Implementación del sistema WiMAX	399
4.6.6.1. España.....	401
4.7. EL ESTÁNDAR DVB-H.....	402
4.7.1. El sistema DVB-H.....	402
4.7.2. Características tecnológicas de DVB-H	405
4.7.2.1. DVB-IP Datacast	406

4.7.2.2. Time-slicing.....	407
4.7.2.3. Transmitter Parameter Signaling (TPS) bits	408
4.7.2.4. MPE-FEC.....	408
4.7.3. Arquitectura de la red	410
4.7.4. Transmisión de señal DVB-H	410
4.7.5. Redes de transmisión DVB-H	411
4.7.6. Receptores y terminales.....	413
4.7.7. Perfiles de implementación DVB-H	413
4.7.8. Guía de Servicio Electrónica.....	415
4.7.9. Seguridad de contenidos.....	415
4.7.10. Implementación del sistema DVB-H	416
4.7.10.1. España y el «Dividendo Digital»	418
4.8. EL ESTÁNDAR DVB-SH.....	419
4.8.1. Sistemas híbridos satélite-terrestre	419
4.8.2. El sistema DVB-SH.....	420
4.8.3. Características tecnológicas de DVB-SH	421
4.8.3.1. DVB-SH A Ground System.....	422
4.8.3.2. La capa física de DVB-SH y su capacidad de canales	423
4.8.4. Características de los satélites.....	426
4.8.5. Características de los transmisores terrestres para DVB-SH.....	426
4.8.6. Receptores y terminales.....	427
4.8.7. Implementación del sistema DVB-SH	427
 CAPÍTULO 5. ESTUDIO COMPARATIVO Y PROSPECTIVA DE LA TELEVISIÓN DIGITAL EN MOVILIDAD	 429
5.1. PRESENTACIÓN DEL TRABAJO	429
5.1.1. Objetivo del estudio	429
5.1.2. Metodología del trabajo	430
5.2. ESTADO DE LA CUESTIÓN: IMPLANTACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS PARA LA TELEVISIÓN DIGITAL EN MOVILIDAD	431
5.2.1. Nuevos retos	436
5.2.2. Modelos de negocio	437
5.2.3. Primera generación de tecnologías para la televisión digital en movilidad	440
5.2.3.1. 3G MBMS.....	440
5.2.3.2. T-DMB.....	441
5.2.3.3. ATSC M/H.....	442
5.2.3.4. MediaFLO.....	443
5.2.3.5. ISDB-T 1 Seg.....	444
5.2.3.6. WiMAX	445
5.2.3.7. DVB-H.....	446
5.2.3.8. DVB-SH.....	448
5.2.4. Segunda generación de tecnologías para la televisión digital en movilidad.....	449
5.2.4.1. LTE eMBMS	449
5.2.4.2. AT-DMB.....	451
5.2.4.3. DTMB y CM-MB (China)	452
5.2.4.4. ATSC 3.0	453
5.2.4.5. ISDB-Tmm e ISDB-T _{SB}	454
5.2.4.6. DVB-T2	455
5.2.4.6.1. T2 Lite	456
5.2.4.7. DVB-NGH.....	457
5.2.5. Tendencias para el futuro	459
5.2.5.1. DVB-3GPP	459
5.2.5.2. FoBTv	459

5.3. ANÁLISIS DE LOS ESTÁNDARES TECNOLÓGICOS PARA LA TELEVISIÓN DIGITAL EN MOVILIDAD	460
5.3.1. Análisis comparativo de los estándares de la primera generación	461
5.3.2. Análisis por el método DAFO de los estándares 1G	467
5.3.2.1. Análisis DAFO de 3G MBMS	473
5.3.2.2. Análisis DAFO de T-DMB	474
5.3.2.3. Análisis DAFO de ATSC M/H	475
5.3.2.4. Análisis DAFO de MediaFLO	476
5.3.2.5. Análisis DAFO de ISDB-T 1 Seg	477
5.3.2.6. Análisis DAFO de WiMAX	478
5.3.2.7. Análisis DAFO de DVB-H	479
5.3.2.8. Análisis DAFO de DVB-SH	480
5.3.2.9. Comparativa DAFO de los estándares 1G	481
5.3.3. Análisis comparativo de los estándares de la segunda generación	482
5.3.4. Análisis por el método DAFO de los estándares 2G	485
5.3.4.1. Análisis DAFO de LTE eMBMS	485
5.3.4.2. Análisis DAFO de AT-DMB	486
5.3.4.3. Análisis DAFO de DTMB	487
5.3.4.4. Análisis DAFO de ATSC 3.0	488
5.3.4.5. Análisis DAFO de ISDB-Tmm	489
5.3.4.5. Análisis DAFO de DVB-NGH	490
5.3.4.7. Comparativa DAFO de los estándares 2G	491
5.3.5. Comparativa de los resultados de los estándares 1G y 2G	492
5.3.6. Modelo comparativo propuesto	492
 5.4. CONCLUSIONES Y PROSPECTIVA DE LAS TECNOLOGÍAS PARA LA TELEVISIÓN DIGITAL EN MOVILIDAD	 495
5.4.1. Conclusiones generales	495
5.4.2. Prospectiva de las tecnologías para la televisión digital en movilidad	500
 ÍNDICE DE ABREVIATURAS	 511
 ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	 521
 ÍNDICE DE FIGURAS	 523
 ÍNDICE DE TABLAS	 527
 ÍNDICE DE GRÁFICOS	 529
 BIBLIOGRAFÍA	 531
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	531
CONSULTAS WEB	537
FUENTES LEGALES Y DOCUMENTOS OFICIALES	542
PUBLICACIONES DE LA INDUSTRIA	549
INFORMES Y ANUARIOS	554
TESIS DOCTORALES	555

PALABRAS CLAVE

TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación); Televisión digital en movilidad; Análisis; Prospectiva; 3G (*Third Generation*); MBMS (*Multimedia Broadcast Multicast Service*), T-DMB (*Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting*); ATSC M/H (*Advanced Television Systems Committee Mobile/Handheld*); MediaFLO (*Media Forward Link Only*); ISDB-T 1 Seg (*Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial 1 Segment*); WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*); DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*); DVB-SH (*Digital Video Broadcasting-Satellite Handheld*); LTE (*3G Long Term Evolution*); eMBMS (*enhanced Multimedia Broadcast Multicast Service*); AT-DMB (*Advanced Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting*); DTMB (*Digital Terrestrial Multimedia Broadcast*); CMMB (*China Mobile Multimedia Broadcasting*); ATSC 3.0 (*Advanced Television Systems Committee 3.0*); ISDB-Tmm (*Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial Mobile Multimedia*); ISDB-T_{SB} (*Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial Sound Broadcasting*); DVB-NGH (*Digital Video Broadcasting-Next Generation Handheld*).

RESUMEN

La transmisión de la señal de televisión a dispositivos móviles ha comenzado a producirse de manera masiva en los últimos años como consecuencia del desarrollo de la Sociedad de la Información, y es un proceso que implica a varios sectores de la industria audiovisual, junto con la industria de las telecomunicaciones y, más en concreto, al sector de la telefonía. A lo largo de la última década, se han desarrollado varios estándares tecnológicos para la televisión digital en movilidad en distintas regiones del mundo fruto de los esfuerzos de numerosos organismos como 3GPP, DVB, ATSC, DMB o ISDB. La mayoría de estos estándares han fracasado en su implantación, salvo en el caso de los estándares DMB-T en Corea del Sur e ISDB-T 1 Seg en Japón. En este momento, se está desarrollando una segunda generación de estándares para la implantación de la televisión digital en movilidad. El objetivo de esta investigación es exponer las tecnologías implicadas en el desarrollo de la televisión digital en movilidad, analizar los distintos estándares tecnológicos para la implantación de la televisión digital en movilidad en el mundo, someter esos estándares a un análisis comparativo y ofrecer una prospectiva de cómo van a desarrollarse en el futuro los avances en las tecnologías para la televisión digital en movilidad.

Para lograr estos objetivos, primeramente hemos situado a la televisión digital en movilidad en el contexto de la evolución de las técnicas de difusión de la televisión, ofreciendo una retrospectiva de las tecnologías de la televisión, sus vías de difusión y los cambios en el sector televisivo que introduce la televisión digital en movilidad, así como su estado de implantación inicial en el mundo. Seguidamente, hemos establecido cómo han evolucionado las distintas tecnologías que han permitido el desarrollo de la televisión digital en movilidad, enfocando la atención en las tecnologías para la multimedia digital y en las tecnologías para la telefonía móvil, que son las que más han influido en el desarrollo de los distintos estándares para la implantación de la televisión digital en movilidad. A continuación, hemos identificado las tecnologías propias para la televisión digital en movilidad y las hemos analizado, centrándonos tanto en el ámbito de la difusión, como en el de la recepción y en la configuración tecnológica de los dispositivos móviles con capacidad para recibir televisión digital en movilidad. Después, hemos seleccionado ocho estándares tecnológicos para la televisión digital en

movilidad (3G, DMB y CMMB, ATSC M/H, MediaFLO, ISDB-T 1 Seg, WiMAX, DVB-H y DVB-SH) y los hemos analizado desde una perspectiva tecnológica, además de señalar su estado de implantación actual. Finalmente, nos hemos servido de la metodología de análisis DAFO para elaborar un modelo de análisis comparativo de los estándares para la televisión digital en movilidad de la primera generación en un esfuerzo por determinar qué estándares tienen ventaja tecnológica frente a sus competidores, y hemos comparado los resultados obtenidos con la realidad de su estado de implantación. Esto nos ha servido para poder identificar factores decisivos de cara a lograr la implantación de un estándar para la televisión digital en movilidad, y para poder elaborar un nuevo modelo comparativo que contemple estos indicadores decisivos. Por último, hemos empleado el nuevo modelo comparativo para analizar los estándares tecnológicos para la televisión digital en movilidad de la segunda generación que están en fase de desarrollo en este momento.

Entre las conclusiones obtenidas de los resultados de la investigación, destacamos que la ventaja tecnológica no garantiza el éxito de la implantación; y que existen dos factores determinantes para la implantación de un estándar para la televisión digital en movilidad que son: la compatibilidad en la transmisión de la señal con un sistema de televisión digital terrestre de su misma familia que ya esté implantado, y el contar con apoyo gubernamental a nivel nacional. El modelo comparativo propuesto en esta investigación también ha servido para elaborar una prospectiva de los estándares tecnológicos para la televisión digital en movilidad de la segunda generación (LTE eMBMS, AT-DMB, DTMB, ATSC 3.0, ISDB-Tmm y DVB-NGH) que van a intentar implantarse en los próximos años.

ABSTRACT

The transmission of television signals to mobile devices has begun to occur massively in recent years as a consequence of the development of the Information Society, and it is a process that involves several sectors of the audiovisual industry, along with the telecommunications industry and, more specifically, the sector of telephony. Over the last decade, several technological standards for the implementation of digital mobile television have been developed in different regions of the world as a result of the efforts of numerous organizations such as 3GPP, DVB, ATSC, ISDB or DMB. Most of these standards have failed in their implantation, except in the case of the DMB-T standard in South Korea and the ISDB-T 1 Seg in Japan. At this moment, a second generation of standards for the implantation of digital mobile television is being developed. The purpose of this research is to present the technologies involved in the development of digital mobile television, to analyze the different technological standards for the introduction of digital mobile television in the world, to provide a comparative analysis of these standards and to elaborate a prospective study about how the advances in the technologies for digital mobile television will develop in the future.

In order to achieve these goals, we have first placed the digital mobile television in the context of the evolution of the techniques for broadcasting television, offering a retrospective of the television technologies, their methods of transmission and the changes that the digital mobile television introduces in the television sector, as well as its state of initial implantation in the world. Next, we have established how the different technologies that have allowed the development of digital mobile television have evolved, focusing on the technologies for the digital multimedia and the technologies for mobile telephony, which are those that have most influenced the development of the different standards for the implantation of digital mobile television. Then, we have identified the technologies for digital mobile television and we have analyzed them, paying special attention to the methods of transmission, as to the reception and the technological configuration of the mobile devices which are able of receiving digital mobile television. After that, we have selected eight technological standards for digital mobile television (3G, DMB and CMMB, ATSC M/H, MediaFLO, ISDB-T 1 Seg, WiMAX, DVB-H and DVB-SH) and we have analyzed them from a technological

perspective, signaling also their current state of implantation. Last, we have used the methodology of SWOT analysis to elaborate a comparative model of analysis for the first generation of standards for digital mobile television in an effort to determine which standards have technological advantage over its competitors, and we have compared the results obtained with the reality of their status of implantation. This has helped us to identify key factors to achieve the implantation of a standard for digital mobile television, and to develop a new comparative model that includes these key indicators. Finally, we have used the new comparative model to analyze the second generation of standards for digital mobile television which are under development at this time.

Among the conclusions drawn from the research findings, we highlight that the technological advantage does not guarantee a successful implantation; and that there are two determining factors for the implantation of a standard for digital mobile television: the compatibility in the transmission of the signal with a digital terrestrial television system of the same family that has already been implanted, and to have the support of the government at the national level. The comparative model proposed in this study has also served to develop a prospective of the technological standards for the second generation of digital mobile television (LTE eMBMS, AT-DMB, DTMB, ATSC 3.0, ISDB-TMM and DVB-NGH) that will try to achieve their implantation in the coming years.

INTRODUCCIÓN

«Vivimos en una sociedad profundamente dependiente de la ciencia y la tecnología y en la que nadie sabe nada de estos temas. Ello constituye una fórmula segura para el desastre».

Carl Sagan

OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN

El objeto material de esta investigación es la televisión digital en movilidad, que se define como aquel servicio de difusión de televisión con tecnología digital que se presta utilizando como soporte ondas radioeléctricas, terrestres o por satélite, y cuya señal es recibida en dispositivos o equipos móviles o portátiles (teléfono móvil, ordenador portátil, PDA, etc.).

El constructo ‘televisión digital en movilidad’ añade la noción de ‘movilidad’ al concepto de ‘televisión digital’, que se refiere al conjunto de tecnologías de transmisión y recepción de imagen y sonido a través de señales digitales. En contraste con la televisión tradicional, que codifica los datos de manera analógica, la televisión digital codifica sus señales de forma binaria. Esto permite transmitir varias señales empleando un mismo canal y abre, además, la opción de tener una vía de retorno entre el consumidor y el productor de contenidos, lo que ofrece la posibilidad de crear aplicaciones interactivas.

El objeto formal de esta investigación es el análisis desde una perspectiva tecnológica con enfoque económico. Se estudiarán las distintas tecnologías para la televisión digital en movilidad, su viabilidad de cara a conseguir su implantación; y se elaborará una prospectiva de cómo se van a implementar los nuevos estándares tecnológicos para la televisión digital en movilidad.

OBJETIVOS DEL TRABAJO

Los objetivos de este trabajo son describir y analizar las distintas tecnologías para la televisión digital en movilidad; aportar un análisis histórico de cómo se han

desarrollado las tecnologías para la televisión digital en movilidad; el estudio, a través de diferentes del casos, de cómo se están implantado los distintos estándares para la televisión digital en movilidad en sus respectivos territorios de influencia; así como plantear una prospectiva de la implantación de los nuevos estándares para la televisión digital en movilidad y describir posibles modelos de negocio.

La descripción y el análisis de las distintas tecnologías para la televisión digital en movilidad sirve para poner de manifiesto que ha sido necesaria la convergencia de muchas disciplinas como las telecomunicaciones, la informática, las tecnologías de la información y los sistemas audiovisuales para poder dar este paso en la evolución de la Sociedad de la Información.

El análisis histórico de cómo se han desarrollado las tecnologías para la televisión digital en movilidad hasta el momento actual permite sumar a la perspectiva tecnológica factores externos de índole económica que han condicionado la implementación de estas tecnologías.

El estudio de cómo se están implantando los diferentes estándares para la televisión digital en movilidad en sus respectivos territorios de influencia permite conocer distintos modelos de negocio y los casos de éxito o fracaso de cada estándar.

El análisis tecnológico de los estándares para la televisión digital en movilidad por separado sirve para determinar las posibilidades de desarrollo que tienen como estándar para la televisión digital en movilidad, las dificultades que pueden encontrar para su implantación en distintos entornos y sus ventajas comparativas para ofrecer este nuevo servicio a los usuarios.

Por último, este trabajo pretende arrojar algo de luz sobre el futuro de la implantación de la televisión digital en movilidad en el mundo y sus posibles modelos de negocio. Por ello, somete a los sistemas técnicos para la televisión digital en movilidad a un modelo de análisis comparativo con el objetivo de poder elaborar una prospectiva a partir de los resultados.

Este estudio también pretende ser un documento de formación, que permita adquirir información acerca de las tecnologías implicadas en el desarrollo de la televisión digital

en movilidad a los profesionales del entorno audiovisual, así como a los recién llegados a este sector y a los estudiantes de Ciencias de la Información y la Comunicación.

JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

La digitalización de la televisión es un proceso estratégico que se está desarrollando a nivel mundial como consecuencia de la implantación de la Sociedad de la Información. El acceso universal a la información por parte de los ciudadanos constituye uno de los grandes pilares de las políticas gubernamentales en torno al desarrollo de las tecnologías y sistemas de la información y la comunicación (TIC). Y con respecto a esta premisa, la televisión forma parte de esta estrategia como herramienta de avance económico y social.

El interés de la televisión digital como elemento integrante de esta nueva sociedad digitalizada no queda reducido a las ventajas tecnológicas que puede traer aparejada la propia digitalización del sistema, sino que además proporciona nuevas posibilidades de innovación en los contenidos, nuevas formas de programación, una mayor segmentación de la audiencia, y un nuevo modo en el hacer y difundir la publicidad. La televisión digital supone la creación de nuevos modelos de negocio que adoptan diferentes tipos de financiación en función de las políticas gubernamentales y de las características propias de cada mercado.

La digitalización de la señal televisiva lleva años implantándose a nivel mundial. En Europa, la Comisión Europea propuso mayo de 2005 como fecha recomendada y el año 2012 como fecha límite para que todos los países cesasen las emisiones de televisión analógica. A partir de ese momento, se impone el empleo de sintonizadores de señal digitales de los distintos estándares de televisión digital terrestre (TDT) disponibles (DVB-T, ATSC, ISDB-T, etc.) para poder sintonizar y reproducir la transmisión en la pantalla. En el caso de España, el cese de las emisiones mediante tecnología analógica, el llamado «Apagón Analógico», tuvo lugar el 3 de abril de 2010. De ahí en adelante, la televisión digital terrestre, que aplica tecnología digital a la señal de televisión para luego transmitirla por medio de ondas hercianas terrestres, sustituye a la televisión analógica.

Pero existen también otras vías de transmisión, tecnologías y formas de acceso para la televisión digital: las ondas terrestres, el cable, el satélite, las líneas ADSL y los dispositivos móviles.

La televisión digital en movilidad es un paso más en el desarrollo de la Sociedad de la Información que comprende la fusión de la ya consolidada televisión digital con la posibilidad de recepción en dispositivos en movilidad, principalmente teléfonos móviles. La televisión deja de estar limitada a un receptor fijo para convertirse en una experiencia personalizada e itinerante mediante el empleo de las nuevas tecnologías de transmisión de datos.

La televisión digital en movilidad existe desde hace casi una década, pero es en este momento cuando está iniciando su implantación a nivel mundial con diversos formatos tecnológicos posicionándose estratégicamente como estándares en diferentes áreas del globo. Muchos gobiernos alrededor del mundo ya han elegido entre los estándares disponibles para sus zonas de influencia e iniciado procesos legislativos para el nuevo servicio.

Los posibles modelos de negocio y el atractivo para los usuarios de este nuevo servicio están definiéndose en este momento y dependerán, en gran medida, de las posibilidades tecnológicas que los distintos estándares para la televisión digital en movilidad puedan ofrecer.

La implantación de la televisión digital en movilidad depende en gran medida de la alta penetración y versatilidad de la telefonía móvil y del desarrollo tecnológico de los terminales móviles, que ofrecen cada vez más capacidad, memoria y resolución, y que se han posicionado como dispositivos multifunción más allá de la comunicación por voz. Esto se traduce en un incremento de la solicitud de contenidos audiovisuales y multimedia por parte de los usuarios, que cada vez se interesan más por la televisión digital en movilidad.

En cuanto a las perspectivas de negocio, en cualquier escenario se contempla un incremento en el número de clientes y de oportunidades de consumo, con nuevos productos y tipos de programas a desarrollar, y una orientación más personalizada en las

acciones de *marketing* orientadas al mundo de la publicidad.

Los principales obstáculos a los que se enfrenta la implantación de la televisión digital en movilidad son, por parte de los usuarios, el desconocimiento de la nueva tecnología y el miedo a perder el control del gasto mensual debido a las actuales formas de tarificación de datos de las compañías de telefonía móvil. Por otro lado, se encuentran dificultades en la asignación de frecuencias y hay una tendencia por parte de los operadores de redes de telefonía a dar preferencia a los servicios de vídeo vía redes 3G y 4G en detrimento de la radiodifusión abierta de programas de televisión.

Según el informe *Global Mobile TV Forecast to 2013* de la consultora RNCOS, el número de suscriptores de televisión digital en movilidad en el mundo a finales de 2014 superaría los 790 millones de personas.

El estándar de televisión digital en movilidad de radiodifusión abierta aprobado para la Unión Europea en 2008 es el DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*). En el Estado español, la adjudicación de frecuencias para DVB-H está congelada debido a que las redes 3G de las operadoras de telefonía han evolucionado tanto en los últimos años que, conforme a una decisión de la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (WRC por sus siglas en inglés World Radiocommunication Conference), se va a adjudicar parte del excedente de espectro radioeléctrico del denominado «Dividendo Digital» a estimular el despliegue de los servicios de nueva generación móviles agrupados bajo las denominadas tecnologías 4G. De este modo, se favorece a las operadoras de telefonía móvil que pueden controlar los contenidos de televisión digital con sus propias infraestructuras, en lugar de asignar frecuencias a un sistema de radiodifusión en abierto como DVB-H.

Según el *Informe Anual 2012* de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC), en 2012 un total de 24,9 millones de líneas accedieron a Internet a través de las redes móviles. La mayoría de conexiones de banda ancha móvil, un 89,9%, se realizaron con terminales de voz (teléfonos móviles). A través de estos terminales se conectaron 22,4 millones de usuarios, mientras que 2,5 millones lo hicieron desde dispositivos exclusivos de datos, principalmente *datacards* y tabletas.

Distintas regiones del mundo están adoptando estrategias para ofertar servicios de

televisión digital en movilidad basados ya en una de ellas, ya en las dos soluciones tecnológicas que existen: una consiste en el empleo de las redes de telefonía móvil disponibles en la actualidad, con sus limitaciones de canales de transmisión y ancho de banda; y la otra se basa en el empleo de técnicas de radiodifusión tradicionales para su recepción en dispositivos móviles que pueden utilizar las redes de difusión de la televisión digital terrestre, el satélite o requerir el despliegue de una nueva red de difusión.

Estas dos soluciones tecnológicas han dado lugar a dos modalidades diferentes de difusión de televisión digital en movilidad:

- *Unicast*, que es la modalidad que emplean los operadores de telefonía móvil y funciona estableciendo un canal exclusivo (comunicación punto a punto) entre la estación base y el usuario que sólo puede ser utilizado por un limitado número de usuarios de manera simultánea.
- *Broadcast*, que es un auténtico servicio de difusión, ya que establece una comunicación punto (estación emisora) a multipunto (dispositivos móviles) sin limitación en el número de usuarios que acceden al servicio de manera simultánea.

Además, también se pueden establecer distinciones en los tipos de televisión digital en movilidad si se atiende a la señal que se recibe en los receptores móviles, pudiendo ser ésta en directo o en *streaming*.

La difusión de televisión digital en movilidad plantea además varios retos de índole tecnológica como son el consumo energético en dispositivos alimentados con baterías, un ancho de banda limitado, un tamaño de pantalla reducido, la capacidad de memoria de los terminales, el diseño de la interfaz de usuario, las compatibilidades de sistemas, el poder de procesamiento de los dispositivos y la movilidad del receptor. Además de estos retos, los dispositivos móviles ofrecen nuevas posibilidades para el desarrollo de servicios de televisión digital en movilidad como es el intercambio de datos por medio de protocolos TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*), que hace posible la interactividad entre emisor y receptor.

Para resolver estos retos, se han desarrollado varias propuestas de estándares

tecnológicos para el desarrollo de la televisión digital en movilidad en todo el mundo, entre los que destacan ocho que constituirán el núcleo de estudio de este trabajo: el estándar 3G (*Third Generation*), los estándares DMB y CMMB (*Digital Multimedia Broadcasting* y *China Multimedia Mobile Broadcasting*), el estándar ATSC M/H (*Advanced Television Systems Committee Mobile/Handheld*), el estándar MediaFLO (*Media Forward Link Only*), el estándar ISDB-T 1 Seg (*Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial 1 Segment*), el estándar WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), el estándar DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*) y el estándar DVB-SH (*Digital Video Broadcasting-Satellite Handheld*). Elegimos estas ocho tecnologías porque representan el mayor potencial de crecimiento global como estándares frente a sus competidores y porque ofrecen soluciones tecnológicas muy diferentes.

El futuro de la evolución de la Sociedad de la Información pasa por el desarrollo y la implementación de las tecnologías para la televisión digital en movilidad. A pesar del fracaso de la mayoría de los estándares de la primera generación, sus organismos impulsores no se han rendido y continúan trabajando para ofrecer una nueva generación de sistemas tecnológicos para la televisión digital en movilidad. Parece que en un futuro cercano asistiremos a los esfuerzos de estos estándares por lograr implantarse, y esperamos que este trabajo sirva para ayudar a comprender mejor cómo se va a producir todo ese proceso.

ESTRUCTURA DEL TRABAJO

Este trabajo se divide en siete partes: una introducción, cinco capítulos correspondientes al cuerpo del trabajo y unas conclusiones incluidas al final del capítulo cinco, aparte de índices y bibliografía. A grandes rasgos, en la introducción se establece el objeto de la investigación, se describen los objetivos, se justifica el estudio, se expone la estructura del trabajo y se plantea la metodología. En el capítulo uno se describe el marco conceptual del desarrollo de la tecnología de la televisión, se explican las distintas vías de difusión de la televisión y se exponen las particularidades propias de la televisión digital en movilidad. El capítulo dos desarrolla el marco tecnológico general comenzando por la evolución de las tecnologías multimedia digitales, siguiendo por la

evolución de las tecnologías de la telefonía móvil, para acabar explicando como la evolución de esas tecnologías ha dado lugar al desarrollo del vídeo en *streaming* y a la multimedia en movilidad. El capítulo tres ahonda en las tecnologías de la televisión digital en movilidad, las infraestructuras necesarias para su implantación y los sistemas tecnológicos de los dispositivos móviles. En el capítulo cuatro, se describen en detalle los ocho estándares tecnológicos para el desarrollo de la televisión digital en movilidad que se han seleccionado para este trabajo: el estándar 3G (*Third Generation*), los estándares DMB y CMMB (*Digital Multimedia Broadcasting* y *China Multimedia Mobile Broadcasting*), el estándar ATSC M/H (*Advanced Television System Committee Mobile/Handheld*), el estándar MediaFLO (*Media Forward Link Only*), el estándar ISDB-T 1 Seg (*Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial 1 Segment*), el estándar WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), el estándar DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*) y el estándar DVB-SH (*Digital Video Broadcasting-Satellite Handheld*). El capítulo cinco, última parte del cuerpo del trabajo, comprende el trabajo de investigación donde se desarrolla el análisis de los ocho estándares tecnológicos escogidos para someterlos a un estudio comparativo. También se lleva a cabo el estudio sobre la prospectiva de implantación de la segunda generación de tecnologías para la televisión digital en movilidad en el mundo y se plantean los futuros posibles modelos de negocio. Finalmente, se exponen las conclusiones de la investigación.

De forma más pormenorizada, la introducción establece como el objeto de estudio a la televisión digital en movilidad, identifica su proceso de implantación como una fase más del desarrollo de la Sociedad de la Información, explica que en este momento se están posicionando en el mundo diversos estándares tecnológicos para proporcionar servicios de televisión digital en movilidad, y que la implantación de uno u otro sistema depende, en gran medida, de las características tecnológicas que los distintos estándares ofrecen. A continuación, se exponen los objetivos del trabajo. También se justifica la elección de la televisión digital en movilidad como el objeto de estudio debido a la revolución que supone en la estructura tradicional del entorno de la televisión. Posteriormente, se desglosa la estructura del trabajo. Y por último, se describe la metodología empleada para la investigación.

El primer capítulo desarrolla el estado de la cuestión y el marco conceptual general. Se divide a su vez en tres partes: una primera que recoge una breve introducción a las tecnologías de la televisión, comenzando por la señal analógica hasta llegar a la revolución de los contenidos digitales; una segunda que describe las distintas vías posibles para la transmisión de la señal de televisión; y una breve introducción a la televisión digital en movilidad con sus nuevos contenidos, sus servicios interactivos, las nuevas plataformas de difusión, así como una visión general de su estado de implantación en España y en el mundo.

El segundo capítulo abarca el marco tecnológico general. Se describe la evolución de las tecnologías multimedia digitales, haciendo especial hincapié en los formatos y los estándares de codificación y compresión. A continuación, se hace un repaso de la evolución de las tecnologías de la telefonía móvil, desde los primeros sistemas de transmisión de voz de primera generación (1G), hasta los sistemas de difusión de datos (3G) y el futuro desarrollo de las redes ultrarrápidas (4G). Por último, se explica como la fusión de esas dos tecnologías ha dado lugar al desarrollo de la multimedia en movilidad con su multiplicidad de servicios, estándares y formatos.

El tercer capítulo se centra en el estudio de las particularidades tecnológicas generales de la televisión digital en movilidad. En primer lugar, se analizan los desafíos técnicos que la implantación de estos nuevos servicios plantea, y se introducen los principales estándares tecnológicos que se están posicionando en el mundo. Después, se estudian las infraestructuras necesarias para la implantación de la televisión digital en movilidad, las distintas vías de difusión posibles y el espectro radioeléctrico necesario. Por último, se exponen las características tecnológicas que se requieren en los dispositivos móviles para poder recibir servicios de televisión digital en movilidad.

El capítulo cuarto consiste en la descripción tecnológica en profundidad de los ocho estándares para el desarrollo de la televisión digital en movilidad que se han seleccionado para este trabajo: 3G, DMB y CMMB, ATSC M/H, MediaFLO, ISDB-T 1 Seg, WiMAX, DVB-H y DVB-SH. Se hace especial hincapié en las características técnicas de cada sistema y en el estado de su proceso de implantación.

El capítulo quinto hace un repaso al estado de la implantación de los ocho estándares

tecnológicos para la televisión digital en movilidad que se han analizado en los capítulos anteriores, los llamados de la «primera generación»; y plantea los nuevos retos a los que se van a enfrentar las tecnologías de la «segunda generación» que se están desarrollando en este momento, así como los posibles modelos de negocio para el futuro. A continuación, se presentan los estándares tecnológicos para la televisión digital en movilidad de segunda generación. Después, se desarrolla el análisis mediante el método DAFO de los estándares de la primera y segunda generación y se los somete a un estudio comparativo. Finalmente, se propone un modelo comparativo propio del que se extraerán las conclusiones del trabajo.

METODOLOGÍA

La estrategia metodológica de esta investigación ha conllevado varios pasos a partir del momento en que se identifica como objeto material del estudio a la televisión digital en movilidad.

El primer paso que se ha dado ha sido el situar la televisión digital en movilidad en el contexto de la evolución de las tecnologías de difusión de la televisión, ofreciendo una perspectiva general que incluye una retrospectiva de las tecnologías de la televisión, sus vías de difusión y los cambios en el sector televisivo que introduce la televisión digital en movilidad, así como su estado de implantación inicial en el mundo.

El segundo paso ha consistido en establecer cómo han evolucionado las distintas tecnologías que han permitido el desarrollo de la televisión digital en movilidad, enfocando la atención en las tecnologías para la multimedia digital y en las tecnologías para la telefonía móvil, que son las que más han influido en el desarrollo de los distintos estándares para la implantación de la televisión digital en movilidad.

El tercer paso ha conllevado la identificación de las tecnologías propias para la televisión digital en movilidad y su análisis, centrándose tanto en el ámbito de la difusión, como en el de la recepción y en la configuración tecnológica de los dispositivos móviles con capacidad para recibir televisión digital en movilidad.

El cuarto paso ha sido analizar cada uno de los ocho principales estándares tecnológicos para la televisión digital en movilidad que se han desarrollado en los distintos territorios

del mundo, las tecnologías que emplean y su estado de implantación en el mundo.

Por último, el quinto paso comienza con un repaso del estado de implantación de las tecnologías para la televisión digital en movilidad llamadas «de la primera generación», y plantea los nuevos retos a los que se van a enfrentar las tecnologías «de la segunda generación» que se están desarrollando en este momento, así como los posibles modelos de negocio para el futuro. A continuación, se presentan los estándares tecnológicos para la televisión digital en movilidad de segunda generación. Después, se identifican las principales características tecnológicas de cada estándar de la primera generación en una tabla y se someten a análisis por el método DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas, Oportunidades) con el objetivo de poder comparar las potencialidades y limitaciones de cada estándar para su implantación. Acto seguido, se elabora una nueva tabla que identifica las principales características tecnológicas que conocemos, a día de hoy, de los estándares de la segunda generación que se están desarrollando y los sometemos también al análisis por el método DAFO para exponer en una tabla sus ventajas y desventajas. Finalmente, comparamos las dos tablas que obtuvimos tras someter a los estándares de la primera generación y la segunda generación al análisis por el método DAFO.

El interés de esta estrategia metodológica de análisis tecnológico y comparativo estriba en que, gracias a que actualmente conocemos los resultados de éxito o fracaso de la implantación de los estándares tecnológicos para la televisión digital en movilidad de la primera generación, podemos estimar si sus ventajas y desventajas tecnológicas resultaron determinantes para su éxito o si, por el contrario, existieron otros factores de carácter externo que permitieron el éxito o precipitaron el fracaso de estos estándares tecnológicos.

Los datos obtenidos del análisis DAFO de los estándares tecnológicos de la primera y segunda generación y su comparativa nos sirven para elaborar un modelo comparativo propio que esperamos sea más eficaz a la hora de determinar las ventajas y desventajas tecnológicas para la implantación de los estándares de la segunda generación que se están desarrollando en este momento.

Gracias a este modelo comparativo propio, identificamos factores críticos externos que

afectan a la implantación de las tecnologías para la televisión digital en movilidad, lo que nos servirá para establecer las conclusiones finales del trabajo y plantear una prospectiva del desarrollo e implantación en el futuro de las tecnologías para la televisión digital en movilidad.

Las principales fuentes bibliográficas consultadas para la elaboración de esta tesis han sido los documentos oficiales relativos a las características tecnológicas y al estado de implantación de los distintos estándares tecnológicos para la televisión digital en movilidad que publican los distintos organismos reguladores del sector en sus páginas web. También se han consultado varios manuales en un esfuerzo selectivo para concentrar el máximo número de aportaciones y perspectivas tecnológicas posibles, así como fuentes de hemeroteca general y especializada, publicaciones de la industria del sector audiovisual y varios recursos *on line*.

CAPÍTULO 1. ESTADO DE LA CUESTIÓN Y MARCO CONCEPTUAL

«La fototelegrafía permitirá enviar escritos, firmas o ilustraciones y firmar contratos a una distancia de 20 000 kilómetros. Todas las casas estarán conectadas».

Julio Verne

1.1. INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA DE LA TELEVISIÓN

El origen de los sistemas de transmisión de imágenes se puede rastrear hasta la invención del «pantelégrafo» por el físico italiano Giovanni Caselli, que en 1862 construyó en Francia un sistema para enviar palabras o imágenes a través de cables telegráficos. El sistema de Caselli se basaba en tres principios: la fotoelectricidad o capacidad de ciertos cuerpos para transformar impresiones luminosas en impulsos eléctricos, los procedimientos de análisis de imágenes descompuestas y recompuestas en líneas de puntos, y la transmisión de señales eléctricas por ondas hercianas.

El siguiente avance importante también tuvo lugar en la segunda mitad del siglo XIX, esta vez en Alemania, y fue el experimento del «disco de Nipkow». En 1884, Paul Gottlieb Nipkow empleó un sistema que consistía en un disco con perforaciones en espiral que al girar descomponía las imágenes en puntos de luz y realizaba una lectura línea por línea de las imágenes. El disco proyectaba la luz reflejada por el objeto de la imagen sobre una serie de células de selenio que enviaban los impulsos eléctricos correspondientes a través de un cable pudiendo transmitir así imágenes en movimiento a distancia. Este sistema fue denominado como «televisión mecánica». El «disco de Nipkow» fue perfeccionado durante el primer cuarto del siglo XX y en 1923 ofrecía ya una resolución de 30 líneas con una frecuencia de 10 imágenes por segundo. Esta definición permitía un escaneado progresivo y su transmisión mediante una onda radioeléctrica modulada en amplitud.

Poco a poco, los investigadores se convencieron de las limitaciones del sistema mecánico y a partir de los años veinte lo abandonaron para favorecer el desarrollo de los

sistemas electrónicos.

1.1.1. La televisión analógica

Los sistemas electrónicos de televisión se basan en las experiencias de varios investigadores distintos que, a finales del siglo XIX y principios del XX, trabajaban de forma simultánea en diferentes partes del mundo intentando crear sistemas cada vez más sensibles que fuesen capaces de captar rápidos cambios de luz, así como la posibilidad de transmitir luego esa información en forma de señal. Estos investigadores trabajaron en los fundamentos de la nueva televisión fabricando los primeros tubos de rayos catódicos para cámaras y receptores, que captaban la luz y la convertían en impulsos eléctricos que luego eran leídos en el receptor mediante una pantalla fluorescente que producía luz visible cuando recibía electricidad. El término «televisión» fue utilizado por primera vez en 1900 por el científico ruso Constantin Perskyi en el Congreso Internacional de la Electricidad de París.

1.1.1.1. Los primeros sistemas electrónicos

La técnica de los tubos catódicos y las células fotoeléctricas se perfeccionó durante los años veinte. El «Iconoscopio», del ruso Vladimir Zworykin, está considerado uno de los primeros diseños de cámara de televisión, y fue perfeccionando y utilizado hasta la década de los treinta. El «Iconoscopio» facilitaba el almacenamiento de las cargas eléctricas y evitaba que se perdieran unidades de información en la exploración de la imagen. Zworykin se convirtió en 1930 en director de los laboratorios de la Radio Corporation of America (RCA) que nueve años más tarde efectuaría la primera demostración pública del sistema. El «Iconoscopio» permitía definiciones de imagen de hasta 455 líneas gracias al empleo del escaneado entrelazado.

Los experimentos en Europa y América permitieron que se desarrollara el sistema electrónico de televisión durante la década de los cuarenta gracias a nuevos instrumentos como el «Orthicon», que ofrecía mayor sensibilidad, multiplicaba la señal de salida para ser transmitida y reducía la presencia de ruido en la señal.

La Segunda Guerra Mundial frenó considerablemente las investigaciones debido al esfuerzo bélico. Las primeras emisiones comerciales de televisión tuvieron lugar en 1946, al finalizar la contienda, aunque los retrasos en la concesión de licencias

retrasaron el desarrollo de la televisión comercial hasta 1952.

En Europa, la BBC disponía en 1939 de una red que daba servicio a 20 000 receptores en el área de Londres. Después de la contienda, la televisión se desarrolló de modo diferente según los países. Los europeos implementaron diferentes normas para la exploración y resolución de la imagen: en Inglaterra se trabajaba con 405 líneas, el sistema francés contaba con 819 líneas y en la mayoría del resto de países se trabajaba con 625 líneas; posteriormente se buscaría la compatibilidad de los sistemas europeos a través del sistema de 625 líneas.

En 1953, la RCA aprobó en Estados Unidos un nuevo sistema de televisión en color de 525 líneas al que se llamó NTSC (*National Television System Committee*).

1.1.1.2. La televisión en color

La televisión en color surge en 1953 en los Estados Unidos como consecuencia de modificaciones técnicas realizadas sobre la televisión en blanco y negro ya existente. Su concepción y origen estuvo condicionado por la exigencia de que la televisión en color fuera compatible con la televisión en blanco y negro. Por este motivo se desarrolló un sistema que mantenía y transmitía la señal de «luminancia Y» (imagen en blanco y negro con información de nivel de gris) y, separadamente, se enviaba la nueva señal de «crominancia C» (con la información de tono, brillo y saturación de color).

La televisión en color emplea el sistema de síntesis aditiva del color para el análisis de la imagen y su posterior decodificación en el aparato receptor, tomando como referencia los colores rojo, verde y azul.

El primer sistema de televisión en color fue introducido en Estados Unidos en 1953 y se le llamó NTSC (*National Television System Committee*). El nuevo sistema había podido conseguir que la triple señal de vídeo en color (rojo, verde y azul) suministrada por el tubo de imagen pudiera ser transformada en una señal que fuera visualizada correctamente sobre un televisor de blanco y negro y que, posteriormente, esa señal en color también pudiera ser transmitida por un canal con el mismo ancho de banda que el de la señal en blanco y negro (6 MHz en Estados Unidos, 7 y 8 MHz en Europa).

Las características del sistema NTSC eran: 525 líneas, escaneo entrelazado (2 campos

de 262,5 líneas) y 30 imágenes por segundo con una frecuencia de campo de 60 Hz. Más tarde aparecieron en Europa dos nuevos sistemas, el PAL (*Phase Alternated Line*) y el SECAM (*Séquentiel Couleur à Mémoire*), con algunas variantes que imposibilitaron la compatibilidad del mercado televisivo durante décadas.

El sistema PAL fue aprobado en 1963 por la UER (Unión Europea de Radiodifusión) y ha tenido una amplia implantación en Europa. Sus características eran: 625 líneas, escaneo entrelazado, 25 imágenes por segundo y una frecuencia de campo de 50 Hz. Inglaterra y Francia mantuvieron sus sistemas de 405 y 819 líneas respectivamente hasta los años ochenta. El sistema PAL ha tenido otras variantes en Latinoamérica, como el sistema PAL M de Brasil y el PAL N de Argentina, donde los canales de transmisión eran de 6 MHz como en el sistema NTSC.

El sistema SECAM era bastante eficaz, pero fallaba en la restitución de las transiciones entre colores saturados. Fue adoptado en 1965 por Francia y los países de influencia francófona de Europa y África.

Las diferencias principales entre los tres sistemas más extendidos para la televisión en color (NTSC, PAL y SECAM) radican en la exploración de la imagen, la forma de modular la subportadora de color y en el valor de su frecuencia.

En la década de los ochenta, se desarrollaron varios sistemas nuevos basándose en los anteriores inspirados por el advenimiento de las comunicaciones vía satélite, entre los que destacan: D2-MAC que constituía un primer acercamiento a la transmisión digital, y PAL+ que mejoraba la definición e incluía la relación de aspecto 16:9.

1.1.2. La televisión digital

A finales la década de los noventa, comienza un nuevo proceso en el desarrollo de la televisión que pasa por la digitalización en las fases de producción, transmisión y recepción, lo que va a permitir manipular, almacenar y transportar con gran rapidez todo tipo de información a través de una nueva red universal. El avance tecnológico que hace posible este salto es la aparición de la Red Digital de Servicios Integrados (RDSI), que permite el acceso digital a la infraestructura de las telecomunicaciones para servicios de

voz, imagen y datos.

En las transmisiones digitales, la señal no es continua en tiempo y espacio como sucede en el sistema analógico, sino que se descompone en un código en el que la información se transmite en forma de señal binaria. Emplea dos símbolos, el «1» representa la presencia de un tono o voltaje y el «0» la ausencia del mismo. La secuencia de bits (unos y ceros) es la unidad mínima de información con la que trabajan los sistemas digitales. Debido a la gran cantidad de información que tiene la imagen en movimiento, las inmensas secuencias de bits se comprimen mediante algoritmos de compresión que son definidos por distintos estándares. Una vez que la imagen y el sonido están digitalizados, se transmiten a los hogares a través de las ondas terrestres, el satélite o el cable. Después, la señal se descodifica, se descomprime y se convierte de nuevo en analógica mediante un descodificador.

Los principios fundamentales en que se basa la tecnología digital están estandarizados en unas normas cuya importancia radica en el muestreo de la señal analógica (vídeo y audio) y su posterior compresión, de tal manera que los receptores puedan reconstruir la señal original a partir de las muestras codificadas.

En 1990, un grupo de expertos e investigadores de varias especialidades como la informática, las telecomunicaciones, la radiodifusión y la electrónica formaron el MPEG (Moving Pictures Expert Group) para estudiar la forma de almacenar y reproducir de forma digital imágenes animadas con sonido estereofónico. Los resultados de los primeros trabajos de este grupo de expertos se materializaron en 1992 con la norma ISO/IEC 11172, más conocida con el nombre de MPEG-1. La idea era permitir el almacenamiento y reproducción de audio y vídeo en soporte CD-ROM con un flujo de datos de 1,5 Mbps. El estándar MPEG-1 se basaba en las técnicas de compresión *intraframe* desarrolladas previamente por el JPEG (Joint Picture Expert Group) y muy pronto se reveló insatisfactorio. En 1991, el grupo MPEG comenzó a desarrollar un nuevo estándar basándose en técnicas de compresión *interframe*, que culminó en la

creación de la norma MPEG-2 que fue adoptada por la organización DVB¹ (Digital Video Broadcasting) para la codificación de vídeo digital.

La televisión digital se diferencia de la analógica por utilizar técnicas de compresión digital que permiten transmitir varios canales en el mismo ancho de banda que antes ocupaba un canal analógico, y porque las señales digitales se pueden mezclar más fácilmente con otras facilitando así la inclusión de nuevos servicios como las aplicaciones multimedia. Respecto al sonido, éste también se transmite de forma digital asegurando una calidad similar a la del disco compacto.

El grupo MPEG, encargado de la definición de los estándares de compresión de imágenes animadas MPEG-1, MPEG-2 y más recientemente MPEG-4, continúa desarrollando normas para la compresión de audio y vídeo. El comité para el MPEG-4 está orientado a las aplicaciones de vídeo digitales donde confluyen la comunicación audiovisual con la informática y las telecomunicaciones, y es un elemento fundamental en el desarrollo de la televisión digital en movilidad.

La compatibilidad de los estándares continúa siendo un problema y, para solventarlo, el CCIR (Comité Científico Internacional de las Radiocomunicaciones) intentó normalizar las condiciones de digitalización y de interfaz de las señales de vídeo digitales mediante su recomendación 601, hoy llamada UIT-R BT.601-7². Los nuevos formatos digitales normalizados ofrecen ventajas como la posibilidad de realizar múltiples copias sin perder calidad de imagen, crear efectos especiales imposibles de realizar en modo analógico, o permitir montajes e intercambio de señales entre países independientemente del estándar utilizado para la difusión (NTSC, PAL o SECAM).

1.1.3. La televisión de alta definición

La alta definición (abreviada AD o HD, del inglés *High Definition*) es un sistema de vídeo con una mayor calidad de imagen que la definición estándar, alcanzando

¹ El DVB (Digital Video Broadcasting) es un organismo encargado de crear y proponer procedimientos de estandarización para la televisión digital. Está constituido por más de 270 instituciones y empresas de todo el mundo. Los estándares propuestos por el DVB han sido ampliamente aceptados en Europa y casi todos los continentes, con la excepción de Estados Unidos, Canadá y Japón donde coexisten con otros sistemas propietarios.

² La Recomendación UIT-R BT.601-7, antiguamente denominada CCIR 601, es la primera recomendación sobre televisión digital realizada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) que se refiere al muestreo de las señales de vídeo y audio.

resoluciones de 1280×720 y 1920×1080 píxeles por línea. La alta definición es un proyecto que tiene más de 20 años de existencia y que se inició cuando la tecnología era aún analógica.

Los objetivos de la alta definición eran: elevar el número de líneas (el sistema PAL pasaba de 625 a 1250 y el NTSC de 525 a 1050), modificar la relación de aspecto de la imagen (de 4:3 a 16:9), elevar también la frecuencia de cuadro de 25 o 30 imágenes por segundo al doble y aumentar la calidad de audio equiparándola a la del disco compacto.

La IBA (Independent Broadcasting Authority) de Reino Unido desarrolló dos formatos de alta definición: D2-MAC y HD-MAC. Pero el ancho de banda que necesitaban estos dos formatos para transmitir la señal de televisión era mucho mayor que el que permitía la implantada televisión analógica. Las iniciativas europeas posteriores intentaron a toda costa que el sistema HD fuera compatible con el PAL. En los Estados Unidos buscaron la compatibilidad con el NTSC. Y en Japón, en cambio, obviaron la compatibilidad e intentaron crear un sistema a medio camino entre el PAL y el NTSC.

A día de hoy, existen más de una veintena de sistemas diferentes de televisión de alta definición. Las diferencias se dan en cuanto a relación de cuadros, número de líneas y píxeles, y forma de escaneo. Pero todos ellos se pueden agrupar en cuatro grandes grupos de los cuales dos ya han quedado obsoletos (los referentes a las normas de la Society of Motion Picture and Television Engineers 295M, 240M y 260M), manteniéndose otros dos que difieren, fundamentalmente, en el número de líneas activas, uno de 1080 líneas activas (SMPTE 274M) y el otro de 720 líneas activas (SMPTE 269M).

En el primero de los grupos, con 1080 líneas activas, se pueden dar diferentes frecuencias de cuadro y de muestras por línea, aunque el número de muestras por tiempo activo de línea se mantiene en 1920. También la forma de escaneo es variable, pudiendo ser escaneo progresivo o entrelazado. De la misma forma ocurre en el segundo grupo, donde las líneas activas son 720, teniendo 1280 muestras por tiempo de línea activo. En este caso, la forma de escaneo es siempre progresiva.

En el sistema de HD de 1080 líneas y 1920 muestras por línea se tienen 2 073 600

píxeles por imagen. Y en el sistema de HD de 720 líneas y 1280 muestras por línea se tienen 921 600 píxeles en la pantalla. En relación con los sistemas convencionales, se observa que la resolución del sistema de 1080 líneas es cinco veces mayor que la del PAL y cinco veces y media mayor que la del NTSC. En el sistema de HD de 720 líneas la resolución es un 50% mayor que en PAL y un 66% mayor que en NTSC.

1.2. VÍAS DE DIFUSIÓN DE LA TELEVISIÓN

Dentro del campo de las tecnologías de difusión de la televisión se puede hacer una distinción entre televisión herciana y televisión no herciana.

1.2.1. La televisión analógica herciana y la televisión analógica por satélite

La televisión herciana es aquella en la que las emisoras de televisión emplean los canales de las bandas de frecuencia establecidos del espectro radioeléctrico, principalmente las bandas UHF (*Ultra High Frequency*) y VHF (*Very High Frequency*), para transmitir su señal. Cada canal de televisión necesita un ancho de banda aproximado (dependiendo del sistema) de 6 MHz. El tipo de frecuencias que emplea la televisión son muy direccionales, lo que ha supuesto para el medio televisivo el tener menor cobertura que otros medios de radiodifusión como la radio. Dado que la onda de televisión herciana puede ser absorbida por la Tierra, es necesario que exista línea de visión directa entre la antena transmisora y la antena receptora. Por ello, las antenas transmisoras de televisión herciana se colocan a gran altura. Dependiendo de la altura de las antenas transmisoras y receptoras, el alcance de la señal oscilará entre los 70 y los 80 km para VHF, siendo menor en UHF por tener mayor frecuencia.

Las emisiones de una cadena de televisión herciana cubren el territorio mediante la instalación de transmisores y repetidores. Como se utiliza el mismo canal de frecuencias, y para que no haya interferencias entre repetidores, se dan diferentes planos de polarización. El mismo canal de televisión aparece en un lugar geográfico con polarización horizontal y en otro con polarización vertical.

La televisión analógica por satélite también es herciana, pero basa su transmisión en el empleo de dispositivos situados en el espacio en una órbita de unos 36 000 km sobre el

ecuador terrestre. La tecnología del satélite ha supuesto un gran avance en la difusión de televisión al permitir salvar aquellas distancias en las que no había posibilidad de enviar señales audiovisuales por vía terrestre herciana. Posteriormente, el desarrollo de la microelectrónica y la reducción de los costos en la fabricación, mantenimiento y lanzamiento de los satélites, han permitido un mayor aprovechamiento de las posibilidades comunicativas de estos dispositivos. Desde 1960 se han lanzado multitud de generaciones de satélites al espacio.

Las emisiones de televisión por satélite transmiten en las frecuencias de microondas y tienen la ventaja de viajar libremente por el espacio sin ser absorbidas ni reflejadas. Además, pueden traspasar las diferentes capas de la atmósfera de la tierra gracias a que transmiten en frecuencias muy altas. Las frecuencias de microondas son utilizadas tanto para transmisiones de televisión como para cualquier otro tipo de telecomunicación por satélite, informática, telefonía intercontinental, comunicaciones militares y comunicaciones meteorológicas. Coinciden en la parte más alta de la banda UHF y la más baja de la banda SHF (*Super High Frequency*). Los satélites de comunicaciones solían funcionar entre los 3,5 y los 6 GHz, la conocida como banda C, pero a partir de los años ochenta comenzaron a operar con otros márgenes de frecuencia, entre los 10 y los 50 GHz, que permiten emplear equipos más potentes.

La transmisión por vía satélite emplea mayoritariamente la banda SHF, cuyas ondas se propagan en línea recta, con una gran atenuación y escasa capacidad para superar obstáculos. Las estaciones de tierra deben utilizar antenas parabólicas de gran tamaño para poder recibir la señal.

Un satélite de comunicación opera como una estación repetidora en el espacio, remitiendo la señal recibida desde un punto de la tierra a una amplia zona de la misma. Según su función y diseño, se puede distinguir entre: satélites de telecomunicaciones que forman parte de redes de distribución y satélites de difusión cuya señal puede ser recibida directamente utilizando equipos domésticos.

La tecnología de los satélites ha propiciado la creación de las llamadas «superestaciones de televisión», que son aquellas estaciones que, además de su cobertura herciana local, envían también la señal a un satélite para que se distribuya por inmensas extensiones de

terreno.

1.2.2. La televisión analógica por cable

La televisión de difusión no herciana se basa en la distribución de la señal por cable. Los primeros experimentos con esta técnica tuvieron lugar en 1948 en Estados Unidos, cuando la mala recepción en algunas zonas rurales llevó a los afectados a situar una antena a gran altura para poder extender una red de cable a partir de la misma que llegase a los diferentes lugares. En los años sesenta, los propietarios de las redes de cable pudieron ampliar el alcance de su difusión desde las estaciones locales a las estaciones de ciudades más lejanas. En 1972, la primera cadena de televisión de pago, HBO (Home Box Office), comenzó a enviar su programación por satélite a los cableoperadores para que la distribuyeran a sus usuarios previo pago.

En 1996, se aprueba la Ley de las Telecomunicaciones en Estados Unidos y con ella se flexibiliza la regulación de la televisión por cable. Se equiparan cable, teléfono y radiodifusión. Se produce la apertura de todos los sectores y desde entonces cada uno puede entrar en el campo de los demás. Mientras, en Europa, la implantación del cable ha sido mucho más lenta.

La televisión por cable abre el camino de la bidireccionalidad, que supone el primer paso hacia una interactividad real al permitir el *feed-back* (retorno de información) entre receptor y emisor.

El cable ofrece mayor ancho de banda, mayor capacidad de transmisión y mejor calidad de la señal. Existen diferentes tipos de cable para la difusión de televisión como el tradicional cable coaxial o la reciente fibra óptica. No obstante, los sistemas de difusión por cable ampliarán enormemente su potencial con la llegada de la televisión digital.

1.2.3. La televisión digital por cable

La televisión digital por cable es el resultado de la aplicación de la tecnología digital a la señal de televisión para luego distribuirla por medio de redes híbridas de fibra óptica y cable coaxial. A través de estas redes, se proporcionan, junto con la señal de televisión digital, otros servicios como radio, telefonía fija y acceso a Internet.

Para recibir el servicio de televisión digital por cable es necesario contactar con un operador de cable que, siempre que el domicilio del solicitante se encuentre dentro de su zona de cobertura, se encargará de instalar la acometida desde la red de distribución hasta el domicilio del abonado, proporcionándole adicionalmente un equipo sintonizador externo que habrá que conectar al televisor y por medio del cual podrá acceder a los canales contratados, a los servicios de pago por visión y a otros servicios interactivos.

La televisión por cable admite la interactividad puesto que el sistema permite enviar información de retorno al emisor. Las redes de cable son muy costosas y sólo resultan rentables en poblaciones grandes. En el sector de la televisión por cable se está imponiendo la introducción de la fibra óptica frente al cable coaxial. La fibra óptica aumenta considerablemente la capacidad de transmisión de canales con su gran ancho de banda, es un sistema más fiable y estable, reduce los costes de mantenimiento y se basa en la modulación de haces de luz generados por transmisores láser, lo que proporciona una señal de más calidad.

1.2.4. La televisión digital por satélite

La televisión digital por satélite es el resultado de la aplicación de la tecnología digital a la señal de televisión para luego transmitirla a una amplia zona geográfica por medio de satélites de comunicaciones. Se diferencia así de la televisión terrestre, cuyas ondas no salen de la atmósfera, y de la televisión por cable, basada en la transmisión a través de redes de fibra óptica y de cable coaxial.

La transmisión de televisión digital por satélite se divide en dos tramos claramente diferenciados: el enlace ascendente o *uplink*, mediante el cual el centro emisor envía las señales de televisión al satélite utilizando grandes antenas parabólicas (de 9 a 12 metros de diámetro); y el enlace descendente o *downlink*, por medio del cual el satélite retransmite la señal de televisión recibida hacia su zona de cobertura sobre la superficie de la tierra utilizando una banda de frecuencias diferente a la del enlace ascendente para evitar interferencias.

Para recibir televisión digital por satélite es necesario disponer de una antena parabólica correctamente orientada al satélite de comunicaciones correspondiente, un dispositivo

de selección y amplificación de banda denominado LNB (*Low Noise Block*), y de un sintonizador de canales digitales (para canales "en abierto") o un decodificador (para canales pertenecientes a alguna plataforma de pago).

Las razones del uso de los satélites para la transmisión de televisión se fundamentan en que esta vía permite la difusión de las señales de televisión sobre un vasto territorio, la difusión desde un punto a múltiples puntos, costes independientes de la distancia, fácil instalación de pequeños y poco costosos equipos de recepción, y la difusión de varios canales *multiplexados* a diferentes velocidades de codificación en un mismo transpondedor de satélite.

Los servicios vía satélite o el despliegue de redes de cable requieren, al principio, de grandes inversiones. Sin embargo, según se va ampliando la cobertura a zonas más despobladas y de orografía irregular, los costes de implantación del sistema de cable aumentan, y los de la televisión por vía satélite disminuyen.

1.2.5. La televisión digital por tecnologías IP

La televisión digital por ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) es el resultado de la aplicación de la tecnología digital a la señal de televisión para luego transmitirla por medio de protocolos asimétricos hasta llegar al usuario final por vía de su línea telefónica. De esta forma, al igual que ocurre con el cable, se configuran los denominados servicios "*triple play*" con la convergencia de los servicios de voz, multimedia o entretenimiento (televisión), y acceso a Internet.

El ADSL es una técnica de transmisión de banda ancha que permite la transmisión de datos a alta velocidad empleando la red telefónica. Se emplean frecuencias más altas que las que utiliza el servicio telefónico para evitar las interferencias, permitiendo así el uso simultáneo de la red para servicios de voz y datos.

Una de las características de los sistemas basados en ADSL es la asimetría, que estriba en que ofrecen una mayor capacidad de transmisión en el llamado "sentido descendente", esto es, de la red de telecomunicaciones hacia el usuario, que en el "sentido ascendente", es decir, del usuario hacia la red. Esto los hace especialmente apropiados para aplicaciones exigentes en ancho de banda de descarga, como el acceso

a Internet basado en páginas web, donde el volumen de información recibida por los usuarios es notablemente mayor al que generan los comandos de control necesarios para la navegación.

El principal factor diferenciador de la televisión digital por tecnologías IP frente al resto de tecnologías de acceso a la televisión digital es el fuerte componente interactivo de este tipo de servicios, que en su mayoría son "a la carta" (*Video on Demand, VoD*), esto es, el usuario final puede elegir el contenido que quiere ver en el momento que él mismo decida. Los operadores de televisión digital por ADSL ofrecen este servicio de forma separada o en paquetes combinados, permitiendo además el acceso a diferentes configuraciones de canales y a servicios de pago por visión.

Para acceder a la televisión digital por ADSL es necesario contar con una línea telefónica dotada de medios ADSL por el operador de red. Tras contactar con el operador del servicio, éste dará de alta en dicha línea el acceso a la señal de televisión digital a través de su centralita telefónica. Además, será necesario instalar en el hogar del usuario un módem externo que demodulará la señal proveniente de la línea telefónica, y un sintonizador de canales digitales que hará de interfaz entre el módem y el televisor para permitir visualizar los contenidos contratados y acceder a los servicios de pago por visión.

1.2.6. La televisión digital terrestre

La televisión digital terrestre o TDT consiste en la transmisión de televisión mediante una señal digital a través de una red de repetidores terrestres.

La codificación digital de la información de la señal aporta diversas ventajas. Entre ellas, cabe destacar en primer lugar la posibilidad de comprimir la señal, lo que implica que ésta requiere un ancho de banda menor para su transmisión resultando en un uso más eficiente del espectro radioeléctrico. Mediante la *multiplexación* de la señal, combinación de dos o más canales de información en un solo medio de transmisión dentro del espectro radioeléctrico, se puede hacer que entren la mayor cantidad posible de canales de televisión en una banda de frecuencia dada, sea ésta de 6 u 8 MHz. Por otro lado, se libera espectro de frecuencia sobrante que se puede dedicar a otros usos. Las técnicas de compresión de la señal también han hecho viable la emisión de señales

de televisión en alta definición, que requieren un ancho de banda mayor que el de la definición estándar.

La segunda ventaja aportada por la codificación digital es una mejora de la calidad de la imagen y el sonido en el momento de la recepción. Puesto que ambos están codificados de manera digital o, dicho de otro modo, de manera lógica, cualquier distorsión en la señal que afecte a la calidad de la recepción puede ser corregida por el receptor. Ello se traduce en una mejor calidad de imagen. Conviene mencionar que la señal digital no es más robusta que la analógica, es decir, no es más resistente a posibles interferencias. Ambas son señales electromagnéticas, de la misma naturaleza, y susceptibles de ser distorsionadas por campos eléctricos o magnéticos, por las condiciones meteorológicas, etc. La diferencia, como se ha expuesto, radica en la manera de codificar la información. La codificación digital se basa en algoritmos lógicos que permiten posteriormente identificar y corregir errores.

La transmisión de TDT se realiza siguiendo los parámetros técnicos establecidos por diferentes estándares tecnológicos. Existen varios, y su uso por parte de los estados responde a su capacidad para crear sus propios estándares, a su ubicación geográfica y a su pertenencia a la esfera de influencia de otros estados creadores de estándares.

La TDT ya está implantada en casi todo el mundo y constituye un eslabón fundamental en la evolución de las tecnologías para la televisión digital en movilidad.

1.3. LA TELEVISIÓN DIGITAL EN MOVILIDAD

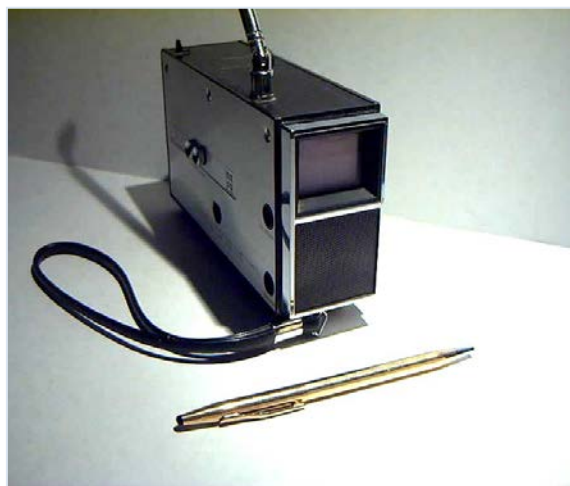
La televisión digital en movilidad se define como aquel servicio de difusión de televisión con tecnología digital que se presta utilizando como soporte ondas radioeléctricas, terrestres o por satélite, y cuya señal es recibida en dispositivos o equipos móviles o portátiles (teléfono móvil, ordenador portátil, PDA, etc.).

1.3.1. Introducción a la televisión digital en movilidad

Los primeros receptores de televisión en movilidad estaban basados en la tecnología analógica y cabían en el bolsillo de un abrigo. El dispositivo pionero fue el IC TV MODEL TR-001 de Panasonic que se comenzó a comercializar en 1970. Le siguió el

MTV-1 Microvision de Clive Sinclair en 1977, que medía 10x16x4 cm, y que empleó más de diez años en su desarrollo que fue financiado por el gobierno del Reino Unido.

Foto 1. Dispositivo IC TV MODEL TR-001 de Panasonic. Imagen tomada del sitio: Television History - The First 75 Years. (<http://www.tvhistory.tv/>)



En las décadas siguientes, el concepto de televisión en movilidad poco a poco comenzará a asociarse con dispositivos móviles cada vez más pequeños y, finalmente, con los emergentes sistemas de telefonía móvil. Hoy en día, las redes de telefonía móvil 3G permiten el acceso a servicios de televisión en movilidad en todo el mundo.

Corea del Sur se convirtió en el año 2002 en el primer país del mundo en tener una red comercial de televisión digital en movilidad basada en el sistema cdmaOne (CDMA IS-95) y, posteriormente ese mismo año, otra basada esta vez en el estándar 3G (CDMA2000 1xEV-DO³). Corea del Sur fue también el primer país del mundo en tener servicios de televisión digital en movilidad comenzando en el año 2005 con un sistema por satélite basado en el estándar S-DMB (*Satellite-Digital Multimedia Broadcasting*), que empezó a operar en el mes de mayo, y que fue seguido en diciembre de ese mismo año por un sistema de televisión digital en movilidad de difusión terrestre basado en el estándar T-DMB (*Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting*).

Corea del Sur y Japón son los dos países líderes en el desarrollo e implantación de los servicios de televisión digital en movilidad. En marzo de 2006, el operador CSL Mobile Limited comenzó a ofertar servicios de televisión digital en movilidad basados en la red

³ Los estándares CDMA IS-95 y CDMA2000 1xEV-DO son explicados en el capítulo 2.

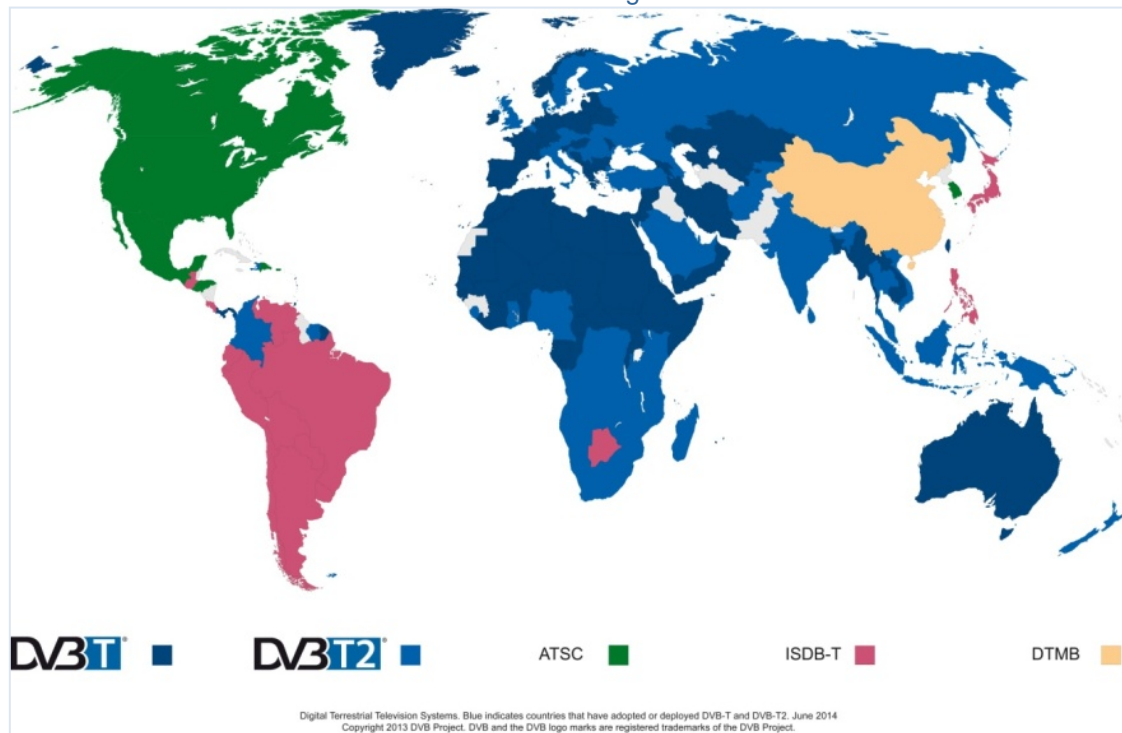
3G en Hong Kong. British Telecom en el Reino Unido fue una de las primeras compañías europeas en ofertar servicios de televisión digital en movilidad comenzando en septiembre de 2006, pero abandonó el servicio un año más tarde. Algo parecido ocurrió en Alemania con el operador MFD (Mobiles Fernsehen Deutschland), que ofertó un servicio de televisión digital en movilidad en junio de 2006 y lo finalizó en abril de 2008. También en junio de 2006, el operador italiano 3 (Tre) comenzó a ofertar un servicio de televisión digital en movilidad, pero esta vez basado en el estándar DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*). En los Estados Unidos, el operador Sprint fue el pionero en ofertar servicios de televisión digital en movilidad comenzando en febrero de 2006.

Pero el punto de inflexión en el desarrollo de la televisión digital en movilidad se da en el año 2010 con la implantación masiva de las redes 3G, que llevaban una década desarrollándose, pero que no experimentaron un crecimiento exponencial hasta el año 2009. Según la consultora Ovum, a finales del año 2013 existían 1750 millones de suscriptores de servicios 3G en el mundo, lo que supone una penetración de mercado del 24,55%, a los que habría que sumar los usuarios de las nuevas redes de banda ancha 4G y los receptores móviles de televisión digital terrestre, lo que configura un mercado con cerca de dos billones de usuarios que son potenciales consumidores de televisión digital en movilidad, multimedia y contenidos interactivos, y que no hace más que crecer. La compañía Ericsson estima que para el año 2020 habrá en el mundo 7700 millones de suscriptores a servicios de banda ancha en movilidad y que el *smartphone* será el dispositivo de acceso dominante.

Otro factor importante para la implantación de los servicios de televisión digital en movilidad lo constituye el desarrollo de los sistemas de televisión digital terrestre. La transición de la televisión analógica a la televisión digital ya ha sido completada en casi todo el mundo, lo que ha supuesto una reconfiguración de todo el espectro radioeléctrico a nivel mundial para asignar las franjas a los distintos operadores, pero al mismo tiempo, ha conseguido que el mundo se agrupe en regiones unidas bajo el paraguas de unos pocos estándares tecnológicos: el ATSC (*Advanced Television System Committee*) en Norteamérica, el ISDB (*Integrated Services Digital Broadcasting*) en Japón y Sudamérica, el DMB (*Digital Multimedia Broadcasting*) en Corea del Sur y

China, y el DVB (*Digital Video Broadcasting*) en Europa, África y Australia. Varios de los estándares tecnológicos para la televisión digital en movilidad están basados en estos sistemas de televisión digital terrestre y comparten las mismas áreas de influencia.

Figura 1. Adopción de estándares de televisión digital por regiones del mundo. Fuente www.dvb.org.



A día de hoy, las tecnologías para ofrecer servicios de televisión digital en movilidad ya han sido ensayadas en todo el mundo. Los operadores de señal llevan años adaptando sus redes o desarrollando otras nuevas como preparación para poder ofertar el nuevo servicio. Según la revista *Business Insider*, se han vendido más de 1300 millones de *smartphones* en el mundo en 2014, que junto al resto de dispositivos con capacidades multimedia (PDAs, *tablets*, sistemas de navegación, etc.) constituyen un inmenso mercado que se espera que crezca exponencialmente en los próximos años gracias, sobre todo, al progresivo abaratamiento de los dispositivos. Es por todo esto que se espera que la televisión digital en movilidad constituya un nuevo paso en el desarrollo de la Sociedad de la Información.

1.3.1.1. Un nuevo medio

La televisión digital en movilidad consiste en la transmisión de programas de televisión digital a dispositivos sin cables (móviles) que abarcan desde teléfonos móviles a PDAs,

tablets, receptores instalados en vehículos y dispositivos de navegación, entre otros. La difusión de la transmisión se puede realizar de dos maneras: en modo *broadcast* cuando se dirige a todos los usuarios en una misma área de cobertura, y en modo *unicast* cuando la transmisión se dirige a un único usuario bajo demanda. Existe también una solución mixta llamada *multicast* en la que la transmisión llega a un grupo reducido de usuarios de una misma área. Las transmisiones *broadcast* pueden ser por vía terrestre, como la televisión analógica herciana, o por vía satélite. Las transmisiones también pueden realizarse a través de Internet, que es la vía empleada para la difusión *unicast*.

1.3.1.1.1. Nuevas características

Para explicar qué diferencias existen entre la televisión digital en movilidad y la televisión digital terrestre o por satélite, nos basaremos en el que se ha convertido en el soporte por excelencia para recibir servicios de televisión digital en movilidad: el teléfono móvil. Los teléfonos móviles tienen pantallas mucho más pequeñas que las de un receptor de televisión convencional. Son dispositivos que condicionan su funcionamiento a la duración de sus baterías y cuya función principal es la transmisión de voz en forma de llamadas, no la recepción de televisión o vídeo. Pese a la evolución de los microprocesadores, la mayoría de teléfonos móviles encuentran dificultades de procesamiento a la hora de codificar o decodificar las señales de vídeo digital actuales. Incluso aquellos que están conectados a redes 3G y soportan grandes tasas de transmisión de datos multimedia no suelen estar preparados para poder manejar una señal de televisión digital estándar de 4 o 5 Mbps. Aun existiendo teléfonos móviles capaces de recibir la señal ordinaria de televisión digital, estos dispositivos no constituyen los soportes ideales para ese cometido.

Las tecnologías para la televisión digital en movilidad han sido específicamente diseñadas para solventar los obstáculos de las pantallas pequeñas, los anchos de banda reducidos y la duración de las baterías, así como para aportar nuevas características como la interactividad. En lo referente al tamaño de la pantalla, el número de píxeles necesarios para proporcionar un servicio de televisión digital a un dispositivo en movilidad es más de diez veces menor que el que requiere la televisión de definición estándar. La televisión digital actual se sigue basando en el estándar de compresión MPEG-2, que era la mejor tecnología disponible en la década de los noventa cuando se

estaba desarrollando el sistema, pero los nuevos sistemas de televisión digital en movilidad emplean algoritmos de compresión mucho más avanzados como MPEG-4, Flash Lite o H.264 para comprimir el vídeo y el audio que, además, son menos exigentes en recursos de procesamiento. Los algoritmos para la compresión de la voz han sido la piedra de toque de las redes de telefonía móvil durante años con sistemas de codificación como AMR (*Adaptive Multi-Rate*). La televisión digital en movilidad, por su parte, necesita sonido estéreo de alta calidad por lo que el empleo de sistemas de codificación de audio avanzados como AAC (*Advanced Audio Coding*) se ha extendido rápidamente. En el ámbito de las redes 3G, que se caracterizan por la necesidad de emplear el ancho de banda eficientemente para poder acomodar a miles de usuarios en una misma área geográfica o célula, la utilización de formatos de archivos basados en las normas dictadas por la estandarización 3GPP (Third Generation Partnership Project) está cada vez más extendida. Dependiendo de las condiciones de transmisión, las redes móviles también pueden reducir el número de imágenes por segundo e incluso adaptar el número de bytes de cada imagen.

Sin embargo, la adaptación de las tasas de transmisión de datos no es la única nueva característica que incorporan las tecnologías para la televisión digital en movilidad. Los nuevos sistemas tecnológicos de transmisión tienen que ser capaces de permitir a unos dispositivos alimentados por baterías el ahorrar energía. Estándares tecnológicos como DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*) y ATSC M/H (*Advanced Television Systems Committee Mobile/Handheld*) incorporan técnicas de *time-slicing* que permiten a los dispositivos poder apagar el consumo de sus antenas durante el 90% del tiempo mientras muestran vídeo ininterrumpidamente. La señal transmitida también incorpora características que permiten solventar los posibles cambios en un entorno de transmisión móvil e impredecible mediante el empleo de robustas técnicas de corrección de errores hacia adelante⁴. Los entornos de transmisión de la televisión digital en movilidad también se caracterizan no sólo por la movilidad de los receptores sino por la alta velocidad a la que se pueden desplazar (coche, tren de alta velocidad, etc.), provocando que las modulaciones empleadas por los sistemas de televisión digital

⁴ La corrección de errores hacia adelante (en inglés, *Forward Error Correction* o FEC) es un tipo de mecanismo de corrección de errores que permite su corrección en el receptor sin retransmisión de la información original. Se utiliza en sistemas sin retorno o sistemas en tiempo real donde no se puede esperar a la retransmisión para mostrar los datos.

terrestre convencionales resulten inoperantes debido al Efecto Doppler⁵, lo que ha llevado al desarrollo nuevas técnicas de modulación como COFDM⁶ (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) diseñadas para ser más robustas frente a posibles desvanecimientos en la recepción. El advenimiento de la televisión digital en movilidad ha provocado que se generen toda una nueva serie de estándares tecnológicos que plantean soluciones a los retos que este nuevo modo de recibir y ver televisión plantea.

1.3.1.1.2. Nuevas posibilidades

Las tecnologías para la televisión digital en movilidad están dirigidas sobre todo a los teléfonos móviles que, con la proliferación de los *smartphones*, se han convertido en plataformas informáticas móviles con sus propios sistemas operativos (Windows Mobile, Android, iOS, entre otros) y paquetes de aplicaciones de *software* (navegadores, gestores de correo electrónico, etc.). Los dispositivos móviles actuales incorporan *software* dedicado para animación y gráficos como Java, Adobe Flash, RealPlayer o Windows Media. Los proveedores de contenidos hace tiempo que están al tanto de estas capacidades y han comenzado a crear contenido adaptado para este tipo de dispositivos aprovechándose de las características que estos ofrecen. El ancho de banda necesario para transmitir una animación en Flash es mucho menor que el que se necesita para transmitir una pieza de vídeo de la misma duración, lo que permite generar todo tipo de contenido atractivo visualmente con información sobre, por ejemplo, el tiempo o noticias. Los actuales dispositivos móviles han permitido todo un abanico de nuevos servicios como compras *online*, encuestas, votaciones, *chat*, *email*, que son presentados mediante vídeo, música y animaciones. Las nuevas tecnologías de la televisión digital en movilidad también incorporan servicios ESG⁷ (*Electronic Service Guide*) que permiten el acceso y la compra de contenidos con comodidad. Los servicios

⁵ El Efecto Doppler, llamado así por el físico austríaco Christian Andreas Doppler, es el aparente cambio de frecuencia de una onda producido por el movimiento relativo de la fuente respecto a su observador.

⁶ COFDM (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) es una técnica compleja de modulación de banda ancha utilizada para transmitir información digital a través de un canal de comunicaciones que combina potentes métodos de codificación más el entrelazado para la corrección de errores en el receptor.

⁷ Guía electrónica de servicios o ESG (siglas en inglés de *Electronic Service Guide*) es una de las múltiples prestaciones que ofrece hoy en día un sistema de radiodifusión, pero en este caso, enfocado para terminales móviles. En ella encontramos información de los servicios disponibles en cada momento. A través de esta información, el usuario puede seleccionar los servicios multimedia que desee disfrutar antes de comprarlos y almacenarlos en su terminal.

ESG se proporcionan mediante una interfaz de usuario adaptada a las pequeñas pantallas de los dispositivos móviles que permite una lectura intuitiva mediante el uso de iconos interactivos. Se han realizado aplicaciones basadas en *software* diseñado para ordenadores personales como Java o Flash, pero su aplicación no ha resultado idónea en dispositivos móviles, lo que ha llevado al desarrollo de adaptaciones de estas mismas aplicaciones a dispositivos con pantalla pequeña como Java MIDP (*Mobile Information Device Profile*) y Flash Lite. En los últimos años, se ha vivido una explosión de estandarizaciones que han supuesto un esfuerzo titánico para tratar de traer algo de uniformidad a esta industria y facilitar la creación de contenidos.

1.3.1.1.3. Nuevos estándares

La televisión digital en movilidad es una realidad gracias un vasto número de tecnologías y estándares que llevan años desarrollándose. La recepción de servicios audiovisuales en las pequeñas pantallas de los dispositivos móviles ha conllevado la convergencia de multitud de formatos de archivos de audio como WAV o MP3 junto con decenas de formatos de vídeo como MPEG-4 que han hecho posible el visionado de imágenes en una nueva plétora de resoluciones, tamaños y tasas de transmisión.

Durante la última década, diseñadores de microprocesadores, fabricantes de dispositivos móviles, desarrolladores de *software*, cadenas de televisión y operadores de señal han tenido que realizar un gran esfuerzo para ponerse de acuerdo en los estándares que conforman las actuales plataformas de implementación de los servicios de televisión digital en movilidad. Esta iniciativa también ha requerido de la colaboración de los creadores de contenidos y de las compañías de teléfonos móviles, que han debido colaborar para crear contenido especialmente adaptado a estos dispositivos y, posteriormente, facilitar su transmisión con seguridad.

Los nuevos teléfonos móviles ya no son simplemente «teléfonos», sino que se han convertido en dispositivos capaces de recibir y crear contenidos audiovisuales, tanto para uso profesional como con fines de entretenimiento. Los nuevos dispositivos móviles pueden conectarse a ordenadores personales, cámaras de vídeo digital, proyectores, y multitud de dispositivos que pueden recibir y presentar todo tipo de archivos multimedia.

1.3.1.1.4. Nuevos recursos

Un teléfono móvil es un dispositivo mucho más versátil que un receptor de televisión convencional. Está conectado a las redes de telefonía móvil y al mismo tiempo puede sintonizar radiodifusiones en FM (Frecuencia Modulada) o conectarse a una red LAN (*Local Area Network*) sin cables mediante tecnología Wi-Fi⁸. Esto permite que la transmisión de televisión digital en movilidad pueda efectuarse mediante redes 3G, terrestres, por Wi-Fi o por satélite. Pero todos estos sistemas de transmisión comparten la necesidad de disponer de una franja del ya saturado espectro radioeléctrico. En los países europeos, las bandas UHF y VHF ya están ocupadas por los servicios de televisión digital terrestre, por eso el estándar DVB-H (*Digital Video Broadcasting Handheld*) se diseñó para emplear las mismas bandas que el preexistente DVB-T (*Digital Video Broadcasting-Terrestrial*). En los Estados Unidos, el espectro sobrante tras la transición digital ha sido subastado a varias operadoras de televisión que han comenzado a ofrecer servicios de televisión digital en movilidad. En Corea del Sur, el espectro asignado a la difusión de audio bajo el sistema DAB (*Digital Audio Broadcasting*) fue reasignado para el sistema S-DMB (*Satellite-Digital Multimedia Broadcasting*) de televisión digital en movilidad por satélite. Posteriormente, una variante de ese sistema basado esta vez en ondas terrestres, el T-DMB (*Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting*), fue ensayado en Alemania e Italia. En Japón, el gobierno ha asignado para la televisión digital en movilidad el mismo espectro que emplea la tecnología ISDB-T (*Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial*) para transmitir televisión digital terrestre que ahora debe de ser compartido con la tecnología 1 Seg. Todos estos problemas a la hora de asignar una franja del espectro radioeléctrico a los nuevos servicios de televisión digital en movilidad son en parte el motivo de que existan en el mundo áreas de influencia claramente diferenciadas, con sus estándares tecnológicos imperantes, que ofrecen soluciones distintas a la transmisión de televisión digital en movilidad.

Los nuevos *smartphones* no sirven sólo para realizar llamadas y recibir televisión. También son reproductores musicales, con la diferencia de que ya no hace falta

⁸ El Wi-Fi es una tecnología de conexión de dispositivos electrónicos de forma inalámbrica. Los dispositivos habilitados con Wi-Fi, tales como un ordenador personal, una consola de videojuegos, un *smartphone* o un reproductor de audio digital, entre otros, pueden conectarse a Internet a través de un punto de acceso de red inalámbrica. Dicho punto de acceso tiene un alcance de unos 20 metros en interiores y algo más al aire libre.

descargarse la música desde un ordenador personal, sino que ahora se puede tomar la señal directamente de la red de datos, lo que ha generado todo un nuevo sector dedicado al diseño de aplicaciones para gestionar estos servicios de descarga. El sector de los microprocesadores se ha visto obligado a proporcionar cada vez *chips* más potentes capaces de gestionar multimedia, proporcionar seguridad a los contenidos y aumentar las capacidades de conectividad. Esto ha empujado a los creadores, desarrolladores y gestores de contenidos a desarrollar formatos especialmente adaptados a los nuevos dispositivos. También los nuevos contenidos, a su vez, han generado la necesidad de ser protegidos mediante los nuevos sistemas DRM (*Digital Rights Management*). Y todo esto junto ha provocado que cada vez sea más necesaria la colaboración entre generadores de contenidos, empresas de telefonía, operadores de señal y desarrolladores informáticos.

Tampoco se puede entender la televisión digital en movilidad si se la separa de los nuevos servicios multimedia que el desarrollo de las redes de datos de la telefonía móvil ha permitido. Estos serían, por citar algunos ejemplos, Youtube, Twitter, Facebook, los videomensajes (MMS), las videollamadas, Skype, la mensajería instantánea, los servicios Rich Media⁹, etc. Todos estos servicios han generado una nueva tendencia que consiste en que el contenido sea creado por los propios usuarios para que pueda ser difundido y compartido con otros usuarios en tiempo real.

Los nuevos teléfonos móviles son, además de un dispositivo para hacer llamadas, una cámara de vídeo y fotografía, reproductor de música, de radio y de televisión, plataforma de acceso a Internet, oficina móvil, estación de juegos y de entretenimiento, monedero electrónico y plataforma de comercio electrónico, sistema de navegación, y dispositivo con múltiples utilidades (linterna, brújula, calculadora, convertidor de moneda, etc.), entre otras cosas.

⁹ Las tecnologías etiquetadas como Rich Media permiten crear servicios complejos que puedan conseguir una respuesta muy positiva por parte de los usuarios. Al utilizar tecnología Flash o HTML5, los anuncios pueden incluir varios niveles de contenido en una ubicación: vídeos, juegos, tuits a raíz de un anuncio, etc. Un servicio de Rich Media contiene imágenes o vídeos y además requiere algún tipo de interacción por parte del usuario.

1.3.1.2. Nuevos contenidos

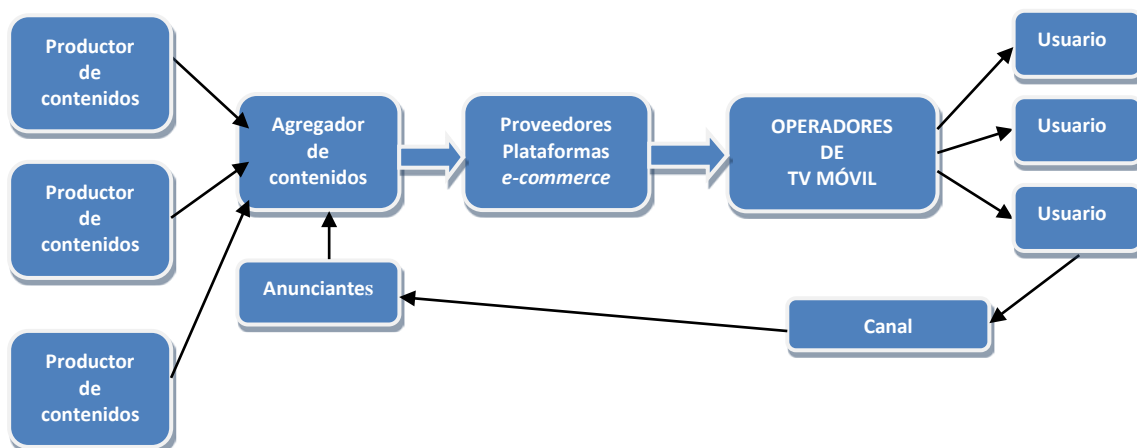
La televisión digital en movilidad no consiste simplemente en el visionado de televisión en el teléfono móvil. Tampoco consiste en añadir servicios de conectividad a la televisión. Es un nuevo servicio, con nuevos contenidos y nuevos formatos de programación. Entre los retos que plantea este nuevo tipo de servicio, nos encontramos con que el tipo de nuevos contenidos que se pueden implementar dependen, en gran medida, del tipo de plataforma móvil a la que se dirigen y sus prestaciones. Otro reto lo plantea la diferencia conceptual que existe entre una difusión *broadcast*, como la del sistema DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*), y la difusión *unicast*, como la de las redes 3G, lo que hace que algunos contenidos sean más apropiados para su emisión en abierto y otros sean más apropiados para ser difundidos bajo demanda.

La televisión digital en movilidad ha proporcionado un nuevo medio, que es a la vez personal y omnipresente, para los productores de contenidos, creadores de publicidad y operadores de señal. La demanda de servicios personalizados de información y ocio en forma de audio y vídeo por parte de los usuarios es cada vez mayor en la sociedad actual. Esto permite a los creadores de contenidos el atrapar audiencias sin depender más de las franjas horarias y poder dirigirse a sectores de público concreto que consumen publicidad y generan demandas de manera interactiva. Y todos los nuevos contenidos diseñados con ese propósito deben estar adaptados para su visionado en unos dispositivos con pantallas muy pequeñas, lo que contribuye a generar una predilección por contenidos de poca duración.

Los nuevos usuarios de servicios de televisión digital en movilidad no sólo quieren ver televisión en sus dispositivos móviles, sino que además quieren tener control sobre los contenidos. Cada vez se generan más contenido producido por los propios usuarios, que a su vez no sólo es difundido, sino que también es descargado, almacenado y compartido entre los propios usuarios.

Los nuevos contenidos generados en red enseguida generaron la necesidad de ser identificados, etiquetados y separados de los canales de televisión tradicionales, dando lugar a la aparición de los agregadores de contenidos, lo cual ha generado un nuevo modelo de flujo de contenidos para los servicios de televisión digital en movilidad.

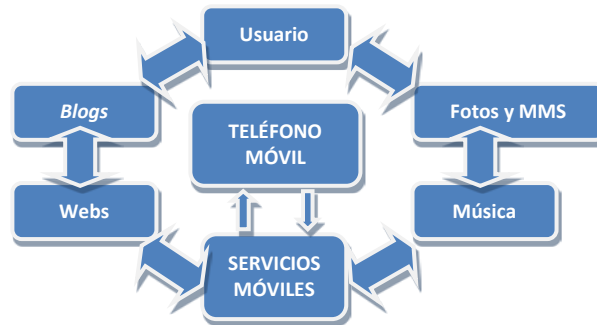
Figura 2. Esquema del flujo de contenidos en la televisión digital en movilidad.



La generación de contenidos es ahora la actividad en la que se especializan los productores de contenidos, mientras que los operadores de señal centran sus esfuerzos en «agregar» esos contenidos y presentarlos en sus dispositivos como parte de una experiencia integradora. Existen multitud de contenidos específicos para dispositivos móviles a disposición de los usuarios, además de aplicaciones y juegos, todos listos para ser descargados en un entorno Rich Media. Pero no sólo hay que «agregar» los contenidos, también hay que presentarlos de forma que su acceso resulte atractivo e intuitivo.

La presentación de los nuevos contenidos se beneficia del *software* ya incluido en los dispositivos móviles como Java o Flash. Esto favorece la generación de un entorno de presentación de contenidos similar al de la televisión convencional, pero con la diferencia de que los contenidos se han creado y mostrado teniendo en cuenta las limitaciones de una pantalla pequeña. Hay que entender que los nuevos teléfonos móviles trascienden la simple capacidad de acceso a Internet, son más bien una plataforma de colaboración que permite el acceso a redes de datos, posee múltiples aplicaciones, y funciona como un nodo de mensajería y comunicaciones personal e intuitivo que está disponible en todo momento.

Figura 3. El teléfono móvil como centro de contenidos.



También hay que tener en cuenta a la hora de presentar los nuevos contenidos que muchos de los productos de los canales de televisión en definición estándar o alta definición no son adecuados para pantallas pequeñas. Por ejemplo, la emisión convencional de un partido de fútbol, en la que se ofrecen gran cantidad de planos generales que abarcan todo el campo de juego, no resulta apropiada para un dispositivo con una pantalla tan pequeña que impide percibir la acción. Para solventar el problema, existen varias soluciones como generar contenidos propios para dispositivos móviles que primen la acción en planos cerrados, o procesar los contenidos convencionales posteriormente para su difusión en dispositivos móviles codificando de nuevo la señal, estabilizando la imagen y reduciendo el ruido, entre otras técnicas.

Por último, hay que saber que muchos de esos contenidos están sujetos a normas de emisión, permisos de uso y derechos de autor que también deben de ser tenidos en cuenta.

1.3.1.2.1. Contenido creado por los usuarios

Los nuevos dispositivos móviles y sus cada vez mayores prestaciones han propiciado la proliferación de contenidos audiovisuales generados por los usuarios. El número de páginas web generadas por usuarios y de *blogs* independientes no hace más que aumentar en todo el mundo. Mención aparte merece YouTube, el sitio web de alojamiento de vídeos que suben los usuarios, que fue creado en 2005 y vendido poco después a Google por más de 1000 millones de euros, y que actualmente es el sitio web de su tipo más utilizado. De hecho, cada vez es más común que fragmentos de estos contenidos generados y compartidos por los usuarios acaben formando parte de la programación de la televisión generalista, o que desde los mismos programas de las

cadenas de televisión se anime a los usuarios a generar sus contenidos y enviarlos para su posible emisión.

1.3.1.2.2. Vídeo bajo demanda

El vídeo bajo demanda se ha convertido en uno de los contenidos más demandados en las redes de telefonía móvil. Los sistemas de vídeo bajo demanda permiten a los usuarios disfrutar de los contenidos audiovisuales, ya sea en *streaming* o descargándolos, en el momento que ellos decidan. Los contenidos de vídeo bajo demanda suelen consistir en una selección de programas con algunas implementaciones que ofertan las propias cadenas de televisión.

1.3.1.2.3. Servicios para adultos

Debido a que un teléfono móvil es un dispositivo mucho más personal que el televisor que se puede encontrar en los hogares, y a que se puede utilizar en cualquier momento y lugar, los contenidos para adultos han encontrado en la televisión digital en movilidad y, en particular, en la modalidad de vídeo en *streaming* bajo demanda, una nueva plataforma de difusión que genera enormes beneficios. Cada país posee normas y leyes específicas que regulan el contenido para adultos, pero todos coinciden en la necesidad de impedir el acceso a este tipo de contenidos a los menores de edad, lo que ha generado a su vez nuevas tecnologías de verificación de la edad, así como sistemas de control que impidan a los menores el acceso a contenidos adultos, además de evitar las copias y reenvío de dichos contenidos.

1.3.1.2.4. Piezas de vídeo o clips

Muchas compañías de telefonía móvil han creado plataformas en las que se pueden comprar pequeñas piezas o *clips* de contenidos audiovisuales, generalmente canciones, y descargarlas bajo demanda, aprovechando así comercialmente sus redes de transmisión de datos. Sirva de ejemplo iTunes, un reproductor de medios y tienda de contenidos multimedia desarrollado por Apple con el fin de reproducir, organizar y sincronizar los iPods, iPhones y iPads, además de comprar música. El 6 de febrero de 2013 iTunes alcanzó los 25 000 millones de canciones descargadas a nivel mundial. Se estima que iTunes genera unas ganancias a Apple de 12 000 millones de dólares al año.

1.3.1.3. Servicios interactivos

El entorno de la televisión digital en movilidad permite generar servicios interactivos capaces de presentar la información mediante gráficos y animaciones de forma atractiva y personalizada, por y para el usuario. Por ejemplo, se pueden visionar noticias, información del tiempo o del tráfico que se hayan generado directamente en las aplicaciones del dispositivo móvil del usuario y que, a su vez, le dirijan hacia programas que se estén emitiendo en ese momento. De manera análoga, durante el visionado de un programa, se pueden solicitar servicios con sólo pulsar un botón si existe una aplicación asociada a la emisión que lo permita. Mediante sencillas aplicaciones, se pueden solicitar tonos de llamada, fondos de pantalla, música y vídeo asociados a los programas, entre otros servicios.

Algunos de los contenidos interactivos más demandados son aquellos que se basan en el emplazamiento del usuario como la información del tráfico o del tiempo. Para facilitar estos servicios se puede, bien permitir que los usuarios naveguen por la web y accedan a páginas con información del tiempo, o facilitar una aplicación interactiva con servicio de información meteorológica basada en Java o Flashcast personalizada para el usuario (o para un área concreta) que proporcione los datos a través de un menú de opciones, o bien difundir los datos que publican otros proveedores de información meteorológica.

Las noticias constituyen otro contenido interactivo con alta demanda, ya sea en forma de información en directo, noticias de última hora o titulares, lo que ha llevado a que muchos canales de televisión y medios de comunicación en general hayan generado boletines de noticias especialmente adaptados para dispositivos móviles.

El mercado de los videojuegos para dispositivos móviles se ha expandido en los últimos años, en parte debido al desarrollo tecnológico, pero el ordenador personal y la videoconsola siguen dominando el sector. No obstante, los dispositivos móviles proporcionan un nuevo tipo de experiencia al jugador, basado fundamentalmente en las capacidades interactivas que les proporcionan su acceso a las redes de datos 3G. El dispositivo móvil le permite al usuario la posibilidad de jugar con sus amigos u otros usuarios en tiempo real, compartiendo la experiencia, y facilita enormemente la adquisición de nuevos juegos mediante las descargas. Además, las cada vez mayores

capacidades de los microprocesadores, que cada vez pueden renderizar gráficos de mayor calidad, están permitiendo la reciente proliferación de videojuegos inspirados en competiciones deportivas, series de televisión y películas de cine, que cada se basan más en la calidad del vídeo, proporcionando un nuevo abanico de experiencias de juego. Los operadores, a su vez, ya han visto las ganancias potenciales que este nuevo mercado les puede reportar mediante el cobro por descarga, el cargo por tráfico de datos y las suscripciones. Muchas de las grandes empresas creadoras de videojuegos ya cuentan con una división especializada en el desarrollo para dispositivos móviles.

Otro nicho de mercado lo constituyen los servicios basados en el conocimiento de la ubicación de los usuarios, que las operadoras de telefonía conocen gracias a la conexión a las redes de datos de los dispositivos móviles. Los proveedores de servicios pueden conocer la localización del usuario con una precisión de metros y proporcionar servicios basados en la proximidad, personalizados, de logística o de emergencias.

Los nuevos dispositivos móviles también suelen incorporar servicios IMPS (*Instant Messaging and Presence Services*) que permiten configurar el estado del usuario para, por ejemplo, indicar a otro usuario que le va a llamar que está ocupado en el caso de que esté en una reunión importante pero no quiera apagar su teléfono móvil.

Uno de los mejores ejemplos de contenido interactivo lo constituyen las redes sociales basadas en la Web 2.0¹⁰ o los servicios 2.0, de entre los que destaca el éxito de Twitter, que incluye elementos de presencia y de mensajería instantánea y que, al contrario que otras redes sociales de éxito como Facebook, ha sido diseñado específicamente pensando en los dispositivos móviles, y que genera un ingente y constante tráfico de información entre usuarios a escala mundial.

1.3.1.3.1. Flash Cast

La capacidad multimedia de los dispositivos móviles ha permitido el empleo de nuevas aplicaciones como el programa Flash, una plataforma diseñada para la producción y

¹⁰ El término Web 2.0 comprende aquellos sitios web que facilitan el compartir información, la interoperabilidad, el diseño centrado en el usuario y la colaboración en la World Wide Web. Un sitio Web 2.0 permite a los usuarios interactuar y colaborar entre sí como creadores de contenido en una comunidad virtual, a diferencia de los sitios web estáticos donde los usuarios se limitan a la observación pasiva de los contenidos que se han creado para ellos. Ejemplos de la Web 2.0 son las comunidades web, los servicios web, las aplicaciones web, los servicios de red social y los servicios de alojamiento de vídeos, entre otros.

entrega de contenido interactivo para diferentes audiencias de todo el mundo sin importar el tipo de dispositivo receptor. Flash utiliza gráficos vectoriales y gráficos *rasterizados*¹¹, sonido, código de programación, flujo de vídeo y audio bidireccional para crear y editar animaciones o archivos multimedia y reproducirlos. Las aplicaciones desarrolladas con Flash se pueden integrar en todo tipo de dispositivos móviles, sin importar el sistema operativo, y proporcionan un entorno gráfico más atractivo para los servicios interactivos.

Los dispositivos móviles y las aplicaciones basadas en Flash han revitalizado el mercado de los juegos de azar *online*, que se pueden categorizar en: loterías, apuestas deportivas y casinos *online*. Los servicios de juego y loterías, por ejemplo, están sujetos a la regulación gubernamental en la mayoría de países, coincidiendo en normativas como las restricciones a los menores de edad, por citar un ejemplo. La obediencia a la regulación es muy importante ya que su incumplimiento puede derivar en fuertes sanciones para el proveedor del servicio, lo que ha derivado en el desarrollo de tecnologías que permiten identificar a los usuarios, verificar su edad, así como garantizar sus derechos como consumidores.

Los teléfonos móviles también representan un entorno único en el que el usuario puede ser individualmente identificado como cliente de un determinado producto o servicio. Con el usuario localizado, la publicidad de los programas de televisión puede estar mucho más focalizada, lo que aumenta su efectividad; y el dispositivo móvil permite además la compra instantánea mediante el acceso a las tiendas *online* de las compañías. Hace muchos años que existen compañías de comercio *online* como eBay, pero ha sido la aplicación de la tecnología Flash y Java a los portales de presentación de contenidos lo que ha permitido que comprar *online* desde la pequeña pantalla de los dispositivos móviles sea atractivo. Al igual que ha sucedido con el mercado de los juegos de azar, las compras *online* han generado la necesidad de proteger los pagos y asegurar los datos

¹¹ Una gráfico o imagen *rasterizada*, también llamada mapa de bits o *bitmap* es un fichero de datos que representa una matriz de píxeles denominada *raster*. En esta matriz, el color de cada píxel es definido individualmente. Se distingue de los gráficos vectoriales porque estos almacenan la información en fórmulas matemáticas. Los gráficos *rasterizados* al ser ampliados comienzan a pixelarse, es decir, se agrandan los elementos constituyentes del gráfico y pierden calidad. En cambio, los gráficos vectoriales pueden ampliarse sin límites.

bancarios de los clientes, dando lugar a nuevas tecnologías casi siempre desarrolladas por los operadores de tarjetas de crédito como Visa.

1.3.1.3.2. Descargas de música y vídeo

La descarga de música es uno de los servicios más populares que ofrecen las redes de telefonía móvil. Estas descargas proporcionan beneficios vía cargos por el tráfico de datos y mediante el cobro de cuotas por el contenido. También incentivan las ventas de dispositivos cada vez más sofisticados, con mejores reproductores multimedia y más capacidad de almacenaje. Una de las tiendas de contenidos multimedia más populares es iTunes de la compañía Apple. Los usuarios de iTunes pueden organizar su música en listas de reproducción, editar la información de los archivos, grabar CDs, convertir archivos a diferentes formatos, comprar música por Internet a través de la tienda iTunes Store y activar un visualizador que presenta la música en forma gráfica. Otra de las novedades de iTunes son sus «listas de reproducción inteligente», que automáticamente detectan canciones según un criterio de búsqueda elegido por el usuario, como haría una base de datos.

1.3.1.3.3. Podcasting

Los *podcast* son programas grabados disponibles en Internet. Normalmente consisten en archivos multimedia de audio y vídeo que se pueden descargar en reproductores como el iPod y disfrutar en cualquier momento. Los *podcast* también pueden ser recibidos directamente por los teléfonos móviles mediante unos programas llamados *podcasters*. Los operadores pueden mostrar listas de *podcasts* disponibles y dejar decidir al usuario cuáles descargar o recibir en *streaming*. Los operadores de la red obtienen su beneficio derivado del cargo por el tráfico de datos. Un *podcast* se asemeja a una suscripción a un *blog* hablado (*audioblog*) en el que se reciben episodios a través de Internet. Su contenido puede ser tan diverso como el de la radio tradicional incluyendo noticias, documentales, música, debates, entrevistas, etc. Algunos autores (denominados *podcasters*) prefieren usar un guión y otros hablan de forma improvisada. Algunos *podcasts* parecen un programa de radio con música intercalada, mientras que otros hacen *podcasts* más cortos y exclusivamente con voz.

1.3.1.4. Plataformas

No todas las plataformas son igual de flexibles a la hora de difundir contenidos.

1.3.1.4.1. Unicast y broadcast

Las plataformas 3G tienen un gran potencial para el empleo del vídeo bajo demanda y los servicios interactivos, y son fundamentalmente *unicast* ya que el cliente recibe el vídeo individualmente mediante *streaming* o por descarga. Por otro lado, las grandes plataformas de difusión como ATSC M/H (*Advanced Television Systems Committee Mobile/Handheld*), MediaFLO (*Media Forward Link Only*), DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*) y T-DMB (*Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting*) emiten en modo *broadcast*, pero proporcionan una interactividad nula o limitada. También se pueden combinar las grandes plataformas de difusión con las redes 3G creando así sistemas híbridos con gran potencial de interactividad.

Las redes 3G suelen servir el vídeo en *streaming* en bajas resoluciones como QCIF (176x144 píxeles y 15 fps), mientras las grandes plataformas lo hacen en formatos como QVGA (320x240 píxeles y 30 fps). Sin embargo, los contenidos descargados vía red 3G pueden ser en alta resolución, lo que contribuye a la popularidad de los servicios de descarga.

Los servicios de televisión digital en movilidad comenzaron a expandirse en el año 2006, y desde entonces ha existido una convivencia entre los sistemas de televisión en directo de las grandes plataformas de difusión con los de vídeo en *streaming* y las descargas de las redes 3G. Las capacidades de las actuales redes HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) y 4G¹² han conseguido que la distribución de contenidos sea mucho más rápida y fácil de lo que era bajo las redes 3G.

1.3.1.4.2. Televisión en directo vs contenido interactivo

Las plataformas de difusión de contenidos de televisión digital en movilidad pueden estar concebidas como distribuidoras de televisión en directo, con todos los problemas que ello conlleva relativos al control de acceso y la gestión de los derechos de emisión; o estar concebidas como una plataforma interactiva para la difusión de contenido Rich Media bajo demanda, música, *clips* de vídeo, descargas y comercio *online*, en cuyo caso

¹² Las redes HSDPA y 4G se explican en el capítulo 2.

deberá observar diversos protocolos de seguridad en sus transacciones, así como proporcionar servicios DRM (*Digital Rights Management*).

1.3.1.5. Plataformas de desarrollo y de difusión

Desde hace pocos años, han comenzado a proliferar compañías especializadas en el desarrollo y difusión de contenidos para la televisión digital en movilidad. Este tipo de nuevas plataformas de desarrollo y difusión deben respetar las siguientes reglas:

- Optimizar todos sus contenidos para cualquier tipo de plataforma de distribución y dispositivo receptor, manteniendo la fidelidad e integridad del contenido original.
- Gestionar todo tipo de contenido (audio, vídeo, fotos, juegos, música, Rich Media, etc.).
- Asegurar una recepción adecuada por parte de los dispositivos receptores, tanto de los contenidos como del tráfico de la información interactiva.
- Recoger el contenido multimedia de múltiples operadores de red, lo que puede implicar el gestionar contenidos en varios formatos distintos.
- Proporcionar seguridad a los contenidos, ya sea mediante el empleo de marcas de agua o utilizando técnicas de DRM (*Digital Rights Management*) y *branding*¹³, así como gestionar los derechos de autor.
- Poder recibir, almacenar y archivar contenidos en formatos de alta calidad.
- Permitir el acceso a los proveedores de contenidos, a los distribuidores y a los operadores de red para que puedan gestionar los contenidos según sus necesidades.
- Facilitar a los operadores el uso de los contenidos para generar beneficios y servicios de valor añadido.

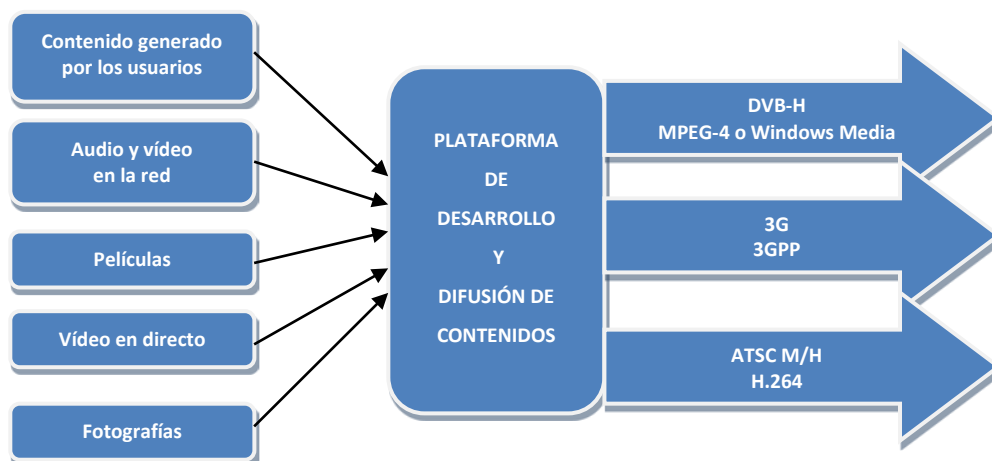
Además, una plataforma de desarrollo y difusión de contenidos debe estar siempre al tanto de las normativas que dicten los organismos como 3GPP y 3GPP2, la OMA (Open Mobile Alliance), así como cualquier otro organismo regulador.

¹³ *Branding* es un anglicismo empleado en mercadotecnia que hace referencia al proceso de hacer y construir una marca (en inglés *brand*) mediante la administración estratégica del conjunto total de activos vinculados en forma directa o indirecta al nombre y/o símbolo (logotipo) que identifican a la marca influyendo en el valor de la marca, tanto para el cliente como para la empresa propietaria de la marca.

1.3.1.6. Adaptación de contenidos para su difusión

La gestión de contenidos para la televisión digital en movilidad conlleva el empleo de numerosos formatos de audio y vídeo. Pese a los significativos esfuerzos de estandarización llevados a cabo para aumentar la interoperabilidad entre las distintas redes, hoy en día proliferan multitud de estándares y formatos diferentes. Por ejemplo, las redes 3G gestionan sus contenidos multimedia de acuerdo a la normativa del 3GPP. El 3GPP en su quinta versión (3GPP *release 5*) empleaba los *códecs*¹⁴ H.263, MPEG-4, AAC y AMR, y en su sexta versión (3GPP *release 6*) cambió a H.264 y AAC+. En el caso de las grandes plataformas de difusión como DVB-H, ATSC M/H, DMB-T o MediaFLO, el contenido suele estar codificado en MPEG-4 o H.264. Por su parte, las plataformas de televisión IP pueden albergar también contenidos en Flash, Windows Media o DivX. Todo esto implica que las plataformas de desarrollo y difusión de contenidos deben de ser capaces de recibir y transcódicar contenidos en multitud de formatos, tanto de entrada como de salida, para poder abastecer a todo tipo de dispositivos reproductores. Del mismo modo, se requiere el uso de convertidores que puedan adaptar el contenido generado por los usuarios a múltiples formatos para su distribución mediante redes 3G.

Figura 4. Esquema de los formatos en las plataformas de desarrollo y difusión de contenidos.



¹⁴ *Códec* es la abreviatura de codificador-descodificador. Describe una especificación desarrollada en *software*, *hardware* o una combinación de ambos, capaz de transformar un archivo con un flujo de datos (*stream*) o una señal. Los *códecs* pueden codificar el flujo o la señal (a menudo para la transmisión, el almacenaje o el cifrado) y recuperarlo o descifrarlo del mismo modo para la reproducción o la manipulación en un formato más apropiado para estas operaciones. Los *códecs* son usados a menudo en videoconferencias y emisiones de medios de comunicación.

Un ejemplo de plataforma de desarrollo y difusión sería Xenon de la compañía Vidiator que permite recibir vídeo en *streaming* a la gran mayoría de los dispositivos móviles del mercado y sigue la normativa 3GPP y 3GPP2. Operadores 3G en Alemania emplearon por primera vez esta plataforma para difundir a dispositivos móviles los partidos de la Copa Mundial de la FIFA de 2006.

1.3.1.7. Software para crear contenidos

En los últimos años, han venido apareciendo varios programas de ordenador con herramientas para la creación de contenidos. La mayoría de ellos provienen de las grandes empresas fabricantes de *software* como Adobe, Real, Apple o Microsoft, y se basan en estándares como Flash, XHTML (*eXtensible HyperText Markup Language*), SVG (*Scalable Vector Graphics*) y SMIL (*Synchronized Multimedia Integration Language*).

Probablemente, el *software* para generar animaciones más extendido en Internet y en los dispositivos móviles sea el Adobe Flash Lite. Se trata de una aplicación de creación y manipulación de gráficos vectoriales con posibilidades de gestión de código mediante un lenguaje de *scripting*¹⁵ llamado ActionScript. Flash es un *software* de animación que trabaja sobre *frames* y está destinado a la producción y entrega de contenido interactivo para diferentes audiencias de todo el mundo sin importar la plataforma. Al igual que otros tipos de animación, Flash organiza las imágenes y sonidos en capas y *frames* para crear animaciones 2D que después son utilizadas en páginas web con contenido multimedia. Estas animaciones pueden ser reproducidas por un reproductor Flash embebido en el navegador. El reproductor también puede realizar otras tareas con contenido multimedia como crear animaciones, editar imágenes, sonido, jugar o programar juegos.

También han aparecido recientemente varios programas de ordenador con herramientas para crear contenidos Rich Media como ASP Turbine que, basándose en ASP, Flash o

¹⁵ En informática, un *script*, archivo de órdenes, archivo de procesamiento por lotes o guión es un programa, usualmente simple, que por lo general se almacena en un archivo de texto. Los *script* son casi siempre interpretados, pero no todo programa interpretado es considerado un *script*. El uso habitual de los *scripts* es realizar diversas tareas como combinar componentes, interactuar con el sistema operativo o con el usuario.

Java, pueden integrar audio, vídeo e imágenes en películas Flash ofreciendo así una visualización de datos interactiva.

1.3.1.8. Nuevas vías para obtener beneficios

El proporcionar servicios de televisión digital en movilidad comprende la interacción de varios tipos de contenido en tiempo real o bajo demanda como son la televisión en directo, el vídeo a la carta o la información basada en la localización (tráfico, tiempo, noticias locales, etc.). El desarrollo de las redes 3G y su evolución ha permitido la proliferación de multitud de nuevos servicios que suman a los tradicionales de voz como son el *podcasting*, el VoIP (*Voice over Internet Protocol*), los MMS (*Multimedia Messaging Service*), la videoconferencia, la mensajería instantánea y los servicios de presencia, entre otros; y los ingresos medios por usuario que esos servicios generan pueden superar ampliamente a los beneficios que reporta el servicio de voz tradicional. Además, muchos de esos nuevos servicios se pueden recibir gratuitamente por multitud de canales diferentes, por lo que cobra gran importancia (en el caso de que se quiera cobrar por ellos) el prestar especial atención a la forma de presentar los contenidos y su modo de difusión.

La televisión digital en movilidad y los servicios multimedia son las nuevas vías que tienen las compañías de telefonía para obtener beneficios. Según la Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT), a finales de 2013 ya había 7000 millones de teléfonos móviles en el mundo, tantos como habitantes. El número de abonos activos a servicios móviles de banda ancha habría pasado de 268 millones en 2007 a 2100 millones en 2013. Los nuevos servicios suponen una nueva oportunidad de negocio, tanto para las compañías operadoras de telefonía como para los fabricantes de dispositivos. Mientras tanto, los usuarios están siendo testigos de cómo su dispositivo de comunicación por voz se transforma en una plataforma multimedia de servicios de comunicación y entretenimiento.

Tabla 1. Clases de servicios multimedia.

Servicios existentes	Nuevos servicios
Voz	Televisión en movilidad
SMS	Videoconferencia
<i>Email</i>	Música bajo demanda
Tonos	Vídeo bajo demanda
	<i>Podcasts</i>
	Juegos interactivos
	MMS
	Presencia
	Internet

Los servicios de televisión digital en movilidad no constituyen generadores de beneficios por sí mismos, pero los generan de otros modos. Los operadores de telefonía móvil, que reciben sus beneficios de las tarifas de voz y ancho de banda de datos, ofrecen a sus clientes un «paquete básico» que incluye la tarifa por voz y una tarifa por datos en la que se incluyen aquellos generados por la transmisión de televisión digital en movilidad. Adicionalmente, se ofertan multitud de servicios extra o «Premium» que se cobran aparte. Un uso excesivo del ancho de banda, como por ejemplo mediante el visionado de vídeo bajo demanda, también suele incurrir en un incremento de la tarifa o una disminución de la calidad del servicio. Por su parte, la difusión de televisión por vía terrestre a dispositivos móviles se suele ofertar como un servicio de suscripción y su implementación todavía está muy limitada en casi todo el mundo.

El difundir gratuitamente televisión en movilidad por vía terrestre ha permitido, en países como Corea del Sur y Japón, el impulsar significativamente la fabricación y venta de dispositivos móviles capaces de recibir señal de televisión. Por otro lado, la regulación a la que se han visto sometidos los canales de televisión que ofertaban estos servicios ha dificultado mucho el obtener beneficios. En Corea del Sur, la difusión de servicios T-DMB (*Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting*) gratuitos ha permitido que se cree una gran base de usuarios, pero las restricciones a la publicidad en los canales de televisión ha impedido la generación de beneficios. En Japón, se está ensayando un sistema mixto con servicios gratuitos que animen la venta de dispositivos con receptor de televisión incorporado y que generen una gran masa de usuarios que

posteriormente quieran suscribirse a servicios «Premium».

El modelo de negocio de los servicios en movilidad conlleva la colaboración de los generadores de contenidos, las plataformas agrupadoras de contenidos, los operadores de redes de telefonía y los radiodifusores de señal. El entorno de los servicios en movilidad ha reconfigurado las características propias de los servicios existentes de televisión, descargas de audio, vídeo, *streaming*, apuestas y juegos, entre otros, que ya constituirían sectores inmensos en sí mismos. Las redes 3G y 4G permiten hoy en día el proporcionar estos servicios a un número inmenso de clientes, de manera interactiva y personalizada, creando multitud de nuevas oportunidades potenciales de negocio para los creadores de contenidos, los operadores de red y los difusores de señal.

1.3.2. Implantación de la televisión digital en movilidad en el mundo

La implantación de la televisión digital en movilidad en el mundo está sucediendo de manera muy irregular y con multitud de formatos diferentes. La expansión de los servicios multimedia en movilidad ha recibido un gran impulso con el desarrollo de las redes 3G y la fabricación de cada vez más terminales móviles con capacidades multimedia, lo que ha incrementado la demanda de contenidos para dispositivos móviles; pero la implantación de los servicios de la televisión digital en movilidad a nivel mundial se ha visto sesgada, con Corea del Sur, China y Japón liderando el proceso.

Los primeros servicios de televisión digital en movilidad del mundo fueron lanzados en Japón en octubre de 2004 y empleaban la tecnología S-DMB (*Satellite-Digital Multimedia Broadcasting*). Le siguió Corea del Sur, también con un sistema S-DMB implementado por la compañía surcoreana TU Media y SK Telekom, en mayo de 2005; y en diciembre del mismo año, la KBS y la KTF implementaron un sistema T-DMB (*Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting*). En abril de 2006, Japón comenzó a ofertar servicios de televisión digital en movilidad basados en el sistema ISDB-T 1 Seg (*Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial 1 Segment*). En junio de 2006, BT Movio hizo lo propio en el Reino Unido. Mientras tanto, la tecnología DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*) se ensayaba en Asia y Europa hasta que la operadora italiana 3 (Tre) comenzó a ofertar servicios en Italia en junio de 2006 y, posteriormente,

se le sumó Mediaset en octubre del mismo año. En Alemania, la compañía MFD comenzó con el servicio en junio de 2006 bajo el sistema T-DMB; mientras tanto, se ensayaba a su vez el sistema DVB-H durante la Copa del Mundo de la FIFA. En China, la tecnología CMMB (*China Mobile Multimedia Broadcasting*) se ensayó en 2008 durante los Juegos Olímpicos. En los Estados Unidos, la empresa Verizon lanzó en marzo de 2007 el servicio basándose en la tecnología MediaFLO (*Media Forward Link Only*), a la que siguió AT&T en mayo de 2008.

A día de hoy, el impulso inicial de las tecnologías para la televisión digital en movilidad se ha visto ligeramente obstaculizado debido a los procesos de adjudicación de licencias para la explotación del espectro radioeléctrico. No obstante, la implementación de redes se sigue desarrollando a buen ritmo en Europa, Asia y los Estados Unidos.

A pesar de que Japón y Corea del Sur fueron los pioneros en implementar servicios de televisión digital en movilidad, basándose en sistemas de difusión tanto terrestres como por satélite, Europa no le fue a la zaga comenzando enseguida con los ensayos de las tecnologías DVB-H y T-DMB. Los Estados Unidos también ofertaron rápidamente servicios de televisión en movilidad, basados en tecnología 3G como MobiTV y VCAST, que pronto se extendieron por otros países del continente americano; al contrario de lo que ocurrió con la tecnología MediaFLO, que emplearon Verizon y AT&T, y que fue casi exclusivamente empleada en los Estados Unidos.

Desde su lanzamiento, los servicios de televisión digital en movilidad han experimentado un gran progreso en Corea del Sur y Japón, países en los que las tecnologías para la televisión digital en movilidad tienen una mayor implantación en la sociedad actualmente. China les sigue en la carrera con la exitosa implantación de su sistema CMMB, que en junio de 2010 estaba ya implementado en 317 prefecturas. Europa, los Estados Unidos y el resto de países americanos y asiáticos van detrás favoreciendo a las tecnologías 3G, y ahora 4G, frente a los sistemas de difusión terrestre para la transmisión de televisión digital en movilidad.

La televisión, el audio y vídeo en *streaming*, los servicios de mensajería, la multimedia o el vídeo bajo demanda son hoy componentes inseparables de los nuevos *smartphones*, y han cambiado el modelo de negocio provocando que los operadores móviles se

enfocuen en ofertar contenidos multimedia para así poder cargar tarifas sobre el consumo de datos. Al mismo tiempo, organizaciones como la OMA (Open Mobile Alliance), la IMTC (International Multimedia Telecommunications Consortium) o el 3GPP (Third Generation Partnership Project) trabajan constantemente en el desarrollo e implementación de estándares tecnológicos para los servicios móviles en general y para la televisión digital en movilidad en particular.

A continuación, se hace un recorrido por algunos países y sus peculiaridades a la hora de implantar la televisión digital en movilidad.

1.3.2.1. Japón

Japón fue el primer país del mundo en tener una red 3G operativa que funciona desde el año 2001. La empresa japonesa NTT DoCoMo ofrecía ya a finales de 2001, mediante su red FOMA (*Freedom of Mobile Multimedia Access*), servicios que incluían la descarga de *clips* de vídeo y fotografías animadas; y empleaba vídeo en MPEG-4 y audio en AMR. A día de hoy, la red FOMA es una de las más importantes del mundo con más de 50 millones de usuarios.

En el año 2003, Vodafone KK (hoy parte de la compañía de telecomunicaciones SoftBank) introdujo en el mercado japonés unos dispositivos móviles que incluían sintonizadores analógicos que podían recibir una señal NTSC. Posteriormente, el servicio se amplió para incluir un componente de interactividad con el lanzamiento de EZ-TV de la empresa KDDI. EZ-TV combinaba los servicios de recepción de televisión analógica con otros servicios interactivos como las descargas de música. Los programas con este tipo de servicios se denominaron «Chaku-Uta Full Content». Las empresas Sanyo, Casio y Toshiba comercializaron dispositivos con servicios EZ-TV. Algunos de los dispositivos incluían un transmisor FM para poder escuchar la música previamente descargada en radios FM, como las de los coches. Los servicios EZ-TV también incluían la posibilidad de conectarse a la red de KDDI y acceder a webs con información EPG¹⁶ (*Electronic Program Guide*) de los programas, así como comprar *clips* de audio y vídeo *online*.

¹⁶ Una guía electrónica de programas o EPG (siglas en inglés de *Electronic Program Guide*) es una de las múltiples prestaciones que ofrece la televisión digital, en la cual se encuentran organizados todos los

Foto 2. Dispositivo NTT DoCoMo N702iD con capacidad FOMA.



Japón emplea el estándar ISDB (*Integrated Services Digital Broadcasting*) para la difusión de televisión. ISDB tiene otras tres variantes: ISDB-S, para las transmisiones por satélite; ISDB-T, para la televisión digital terrestre; e ISDB-C, para las transmisiones por cable. El estándar ISDB proporciona 13 segmentos en una única portadora de 6 MHz en OFDM¹⁷ (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), lo que da unos 430 kHz de ancho de banda por segmento.

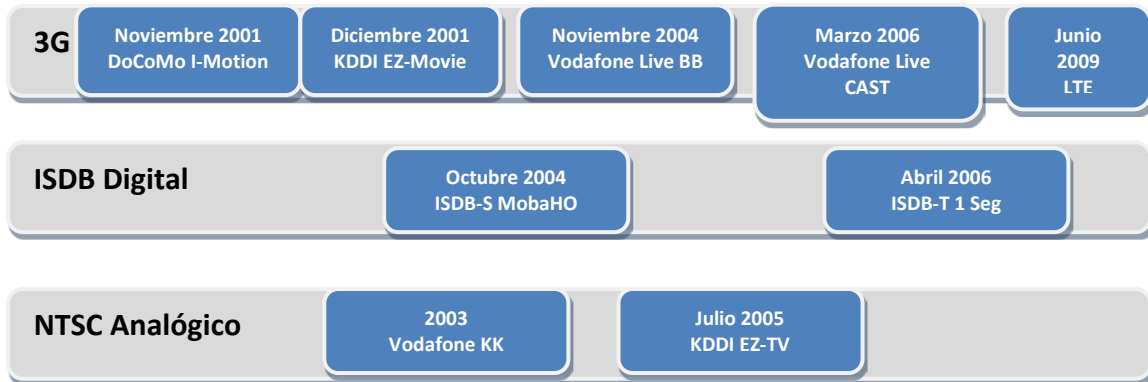
La transmisión de televisión en movilidad en Japón comenzó en octubre de 2004 con el servicio MobaHO, que empleaba el satélite MBSat 1 de Japón y Corea del Sur, y que utilizaba tecnología ISDB-S. El servicio proporcionaba vídeo codificado en MPEG-4 V1 y audio codificado en AAC (LC). La resolución era de 320x240 píxeles (QVGA) y la tasa de transmisión de datos de 384 kbps. El servicio de audio estaba codificado a 144 kbps. La oferta inicial incluía 8 canales de vídeo y 30 de audio con cobertura en todo Japón.

La difusión de televisión en movilidad en Japón por vía terrestre comenzó en abril de 2006 y empleaba uno de los segmentos de ISDB-T al que se llamó 1 Seg *broadcasting*.

canales que nos ofrece un sistema de televisión. La EPG representa la evolución a la era digital del tradicional servicio de programación que ofrece el teletexto.

¹⁷ La *Multiplexación* por División de Frecuencias Ortogonales, en inglés *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM), o *Discrete Multi-tone Modulation* (DMT) es una *multiplexación* que consiste en enviar un conjunto de ondas portadoras de diferentes frecuencias, donde cada una transporta información, moduladas en QAM o en PSK. Normalmente, se realiza la *multiplexación* OFDM tras pasar la señal por un codificador de canal con el objetivo de corregir los errores producidos en la transmisión, entonces se denomina COFDM, del inglés *Coded OFDM*.

Figura 5. Esquema del desarrollo de los servicios de televisión móvil en Japón.



Los servicios 1 Seg *broadcasting* comenzaron siendo gratuitos en Tokio, Osaka y Nagoya, donde ofrecían 34 canales a mediados de 2006. Como el sistema de radiodifusión puro que era, 1 Seg no dependía de los operadores de telefonía móvil, pero estos ofertaron a los radiodifusores de 1 Seg el participar en el negocio mediante la inclusión de interactividad en el servicio a través de sus redes 3G. A finales de 2009, se habían vendido más de 30 millones de dispositivos con capacidad de recepción 1 Seg.

Foto 3. Dispositivo con capacidad 1 Seg.



Otro de los servicios de 1 Seg es la difusión de datos con información sobre el tiempo, noticias, deportes y EPG, entre otros. La difusión de datos emplea tecnología BML (*Broadcast Markup Language*), que incluye la posibilidad de transmitir datos vía difusión terrestre o mediante redes 3G. Las empresas Sanyo e Hitachi han comercializado dispositivos capaces de recibir datos BML.

1.3.2.2. Italia

La primera red comercial con tecnología DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*) del mundo fue lanzada en Italia en junio de 2006. La compañía italiana 3 (Tre) empleó la banda UHF para proporcionar servicios DVB-H con una cobertura que comprendía a más del 65% de la población del país. El servicio se llamó Walk-TV y la suscripción inicial costaba 3 euros por día o 29 euros al mes. También comercializaban paquetes que incluían servicios de llamada por voz además de la televisión móvil. Los canales de televisión ofertados inicialmente incluían: RAI1, Canale 5, Sky TG24, además de La 3 Live que estaba especialmente diseñada para dispositivos móviles.

La plataforma Walk-TV ha sido modificada muchas veces desde su lanzamiento. En el año 2008, algunos canales comenzaron a ofertarse en abierto con el objetivo de ganar suscriptores. El consorcio DVB estimaba en un informe de finales de 2009 que en el año 2015 habría 5 millones de usuarios de servicios DVB-H en Italia.

1.3.2.3. Alemania

Alemania ha sido tradicionalmente una plaza fuerte de la tecnología DAB (*Digital Audio Broadcasting*), con aproximadamente 180 estaciones de radio cubriendo el 85% de su territorio. Los servicios de televisión digital en movilidad comenzaron en Alemania coincidiendo con la Copa del Mundo de la FIFA 2006. La compañía MFD, en colaboración con la operadora de telefonía móvil Debitel, empleó los estándares tecnológicos DVB-H (estándar europeo) y DMB-T (evolución del DAB) para lanzar el servicio en las ciudades de Berlín, Frankfurt, Múnich, Colonia y Stuttgart. El servicio, cuya suscripción costaba 10 euros al mes, cesó en el año 2008.

La licencia para utilizar la tecnología DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*) fue adjudicada en junio de 2008 al consorcio de operadoras de telefonía Mobile 3.0, dejando al resto de operadoras fuera. El resultado fue que el resto de operadoras comenzaron a ofertar dispositivos con capacidad DVB-T en lugar de DVB-H, ya que este último era un servicio de suscripción que obtenía beneficios sustrayéndoselos a las redes telefónicas. Tres meses después de su lanzamiento, los servicios ofertados por Mobile 3.0 cesaron. Mientras tanto, los operadores de telefonía O2 Germany, T-Mobile, E-Plus y Vodafone (Alemania) han venido ofertando todo tipo de servicios de televisión

en movilidad vía redes 3G/HSDPA.

1.3.2.4. Países Bajos

Los Países Bajos terminaron con la difusión de televisión mediante sistema analógico ya a finales del 2006. La empresa holandesa KPN fue capaz de implementar un sistema de difusión de televisión empleando tecnología DVB-T (*Digital Video Broadcasting-Terrestrial*) pese a ser principalmente una operadora telefónica. KPN también introdujo los servicios de videoconferencia ya en 2004 gracias a su red 3G y al dispositivo Sony Z1010. KPN también ofrece servicios de televisión digital en movilidad.

Foto 4. Dispositivo Sony Z1010.



El sistema DVB-H fue ensayado en los Países Bajos empleando la red DVB-T de la empresa KPN. Las compañías Nokia, KPN y Nozema se aliaron para probar la tecnología e incluyeron un receptor DVB-H en los dispositivos 7710 de Nokia. El servicio comercial comenzó en junio de 2008 con 10 canales de suscripción que costaban 10 euros al mes. El consorcio DVB anunció que el servicio tenía alrededor de 30 000 suscriptores a mediados de 2009.

1.3.2.5. Estados Unidos

El desarrollo de la televisión digital en movilidad en los Estados Unidos presenta varias peculiaridades debido a que allí se implementaron la tecnología MediaFLO (*Media Forward Link Only*) y los servicios de televisión en *streaming* MobiTV.

Casi todas las operadoras de telefonía de los Estados Unidos ofertan servicios de televisión digital en movilidad por *streaming* para teléfonos móviles como: Verizon CAST, Sprint TV y AT&T CV. Además, existe el servicio MobiTV, que es un agregador de contenidos que emplea las redes de todas las operadoras para suministrar contenidos audiovisuales bajo demanda a sus suscriptores.

La empresa estadounidense Qualcomm se había hecho en el año 2005, mediante subasta pública, con la licencia para operar el canal 55 de la UHF (716-722 MHz), lo que le permitió implementar una red de transmisores con tecnología MediaFLO para difusión de televisión digital en movilidad que en el año 2006 alcanzó la cobertura de casi todo el país. Los servicios MediaFLO eran proporcionados por dos operadoras de telefonía, AT&T y Verizon, que empleaban la infraestructura de Qualcomm para ofertar el mismo servicio, salvo por dos canales específicos de cada operadora. MediaFLO alcanzó cobertura nacional en 2009, cuando se produjo el «Apagón Analógico» en los Estados Unidos, lo que permitió a Qualcomm hacerse con más frecuencias de la banda D (700 MHz). El 21 de julio de 2010, Qualcomm anunció que planeaba vender su negocio de MediaFLO, su espectro radioeléctrico o encontrar un socio. En ese momento el servicio daba cobertura a 68 millones de usuarios. El 20 de diciembre de 2010, AT&T anunció que iba a comprar las licencias de la radiofrecuencia de Qualcomm en la banda de los 700 MHz y que el servicio FLO TV se cerraría el 27 de marzo de 2011.

La tecnología DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*) ha sido ensayada sin éxito en los Estados Unidos por las operadoras Modeo y Hi-Wire. El fracaso de estos intentos ha sido achacado a los altos precios que son necesarios pagar para conseguir una licencia para operar en el espectro radioeléctrico, así como el alto coste de desplegar una nueva red de transmisores.

La tecnología más prometedora para la implementación de la televisión digital en movilidad en los Estados Unidos es ATSC M/H (*Advanced Television Systems Committee Mobile/Handheld*). Cuenta con el apoyo de la NAB (National Association of Broadcasters) y sus más de 800 estaciones de difusión a lo ancho de todo el país. ATSC M/H fue seleccionado como «*Candidate Standard*» por la ATSC en julio de 2009 y aprobado unos meses después creando así una red de servicios de televisión digital en

movilidad de cobertura nacional. Según el *Informe Anual 2013* de la ATSC, actualmente más de 130 estaciones están transmitiendo señales de televisión digital en movilidad basadas en el estándar ATSC M/H.

1.3.2.6. China

China es probablemente el país con más suscriptores de servicios de telefonía móvil del mundo, siendo más de 650 millones a mediados de 2009, y es por ello que representa una de las mayores oportunidades de mercado para la implantación de tecnologías y servicios de movilidad. China es también uno de los mayores mercados de banda ancha del mundo con multitud de dispositivos móviles conectándose a Internet constantemente. Finalmente, el sector de las operadoras de telefonía chinas está controlado por unas pocas compañías (China Mobile, China Telecom y China Unicom). Todo esto ha llevado a China a desarrollar sus propios estándares tecnológicos, tanto para la difusión de televisión digital terrestre como de televisión digital en movilidad, amparados por el gobierno chino mediante subsidios y organizaciones como la SARFT (State Administration of Radio, Film, and Television).

La principal cadena de televisión de China es CTTV, controlada por la gubernamental SARFT, que opera 16 canales que cubren todos los géneros de programación. También son muy populares las cadenas de televisión Hunan TV y Phoenix TV. China tiene más de 400 millones de hogares con televisión, de los cuales unos 150 millones emplean el cable como vía de transmisión. DTMB (*Digital Terrestrial Multimedia Broadcast*) es el estándar tecnológico para la difusión de televisión digital terrestre en China. Las transmisiones en DTMB pueden ir en monoportadora o multiportadora, en red de frecuencia única o multifrecuencia. El lanzamiento oficial de DTMB se hizo coincidir con los Juegos Olímpicos de 2008, y fue realizado en ocho ciudades con un canal en alta definición y seis canales con definición estándar. La tecnología DTMB es compatible con todo tipo de tamaños de pantallas, pero aun así, el gobierno Chino está apoyando también al sistema CMMB (*China Mobile Multimedia Broadcasting*) en un esfuerzo para digitalizar todas las transmisiones.

En enero de 2009, el Ministerio de Industria y Tecnología de la Información chino asignó las licencias para la explotación de las tecnologías 3G a tres compañías: China

Mobile, China Telecom y China Unicom.

Las primeras tecnologías de difusión digital en movilidad implementadas en China se basaban en el sistema DAB (*Digital Audio Broadcasting*). La SARFT comenzó a promocionar una serie de estándares hasta configurar el sistema tecnológico CMMB (*China Mobile Multimedia Broadcasting*). Posteriormente, fue implementado en Beijing, Guangdong, Dalian y Zhengzhou. Finalmente, la SARFT aprobó también un sistema CMMB híbrido satélite-terrestre para la difusión de servicios de televisión digital en movilidad.

Los servicios de CMMB en China son proporcionados por la compañía China Satellite Mobile Broadcasting Corp. (CSMB), que está controlada por la SARFT. La televisión digital en movilidad se ha desarrollado exponencialmente en China gracias a que el Ministerio de Industria y Tecnología de la Información asignó como mandato el que cualquier dispositivo que pudiese acceder a las redes 3G tuviera además capacidad de recibir televisión digital en movilidad vía CMMB. A finales de 2009, las tres operadoras de telefonía chinas se esforzaban en convertirse en proveedoras de servicios de televisión digital en movilidad, pero CSMB firmó un contrato en exclusiva con China Mobile para la difusión de televisión digital en movilidad mediante tecnología CMMB alcanzando en junio de 2010 la cobertura de 317 prefecturas, lo que posiciona a China Mobile como empresa líder en el mercado para la implantación del sistema CMMB.

Las emisiones en CMMB coincidieron también con los Juegos Olímpicos de Beijing de 2008, y alcanzaron a un grupo de 37 ciudades que posteriormente se amplió a 113. El servicio CMMB lo proporciona la SARFT en cooperación con China Mobile. Aparte de en los teléfonos móviles, CMMB se puede recibir en *notebooks*, módems USB¹⁸ y tarjetas de PC. CSMB también ha desarrollado terminales específicos para recibir CMMB y los ha desplegado por toda China.

¹⁸ El *Bus* Universal en Serie (BUS) en inglés *Universal Serial Bus* (USB) es un *bus* estándar industrial que define los cables, conectores y protocolos usados en un *bus* para conectar, comunicar y proveer de alimentación eléctrica entre computadoras, periféricos y dispositivos electrónicos. En arquitectura de computadores, el *bus* de datos es un sistema digital que transfiere datos entre los componentes de una computadora o entre varias computadoras. Está formado por cables o pistas en un circuito impreso, dispositivos como resistores y condensadores además de circuitos integrados.

El sistema CMMB está diseñado como un sistema híbrido satélite-terrestre con transmisiones por satélite redifundidas por repetidores terrestres en la banda S. En febrero de 2007, la compañía CSMB y la SARFT anunciaron que habían seleccionado a la empresa China Mobile Broadcasting Satellite, Ltd. (CMBSat) como su principal proveedor de satélites de banda S. El proyecto, que consistía en crear un satélite para difundir señal CMMB a todo el país, fue aprobado y el satélite construido por la empresa estadounidense Space Systems Loral. Sin embargo, el satélite, que iba a ser lanzado por China Satellite Mobile Broadcasting Corp junto con la estadounidense Echostar Corporation, nunca pudo obtener los permisos necesarios para operar en la banda S sobre China debido a la oposición de varios bandos del gobierno. Por consiguiente, los servicios fueron lanzados mediante difusión terrestre empleando la banda UHF, controlada por la SARFT, con motivo de los Juegos Olímpicos de 2008. Posteriormente, el servicio de televisión digital en movilidad por tecnología CMMB se ha ido extendiendo al resto del territorio de China empleando la difusión terrestre en UHF, pero sigue vigente el plan de implementar el sistema híbrido satélite-terrestre en banda S en un futuro.

Los servicios CMMB en China son exclusivos de China Mobile, pero los tres operadores de telefonía ofrecen servicios de televisión digital en movilidad vía redes 3G. China Telecom comenzó a ofertar, en la provincia de Hainan, servicios de televisión en movilidad empleando la tecnología CDMA¹⁹ (*Code Division Multiple Access*). A día de hoy, posee una red EV-DO que permite el disfrute de vídeo en *streaming* con buena calidad en toda la nación. Por su parte, China Unicom comenzó a ofrecer servicios de vídeo en *streaming* a mediados de 2009, así como un paquete de suscripción para recibir servicios de vídeo bajo demanda. También está estudiando la posibilidad de ofertar servicios CMMB.

¹⁹ La *multiplexación* por división de código, acceso múltiple por división de código o CDMA (del inglés *Code Division Multiple Access*) es un término genérico para varios métodos de *multiplexación* o control de acceso al medio basados en la tecnología de espectro expandido. El término CDMA, sin embargo, suele utilizarse popularmente para referirse a una interfaz de aire inalámbrica de telefonía móvil desarrollada por la empresa Qualcomm, y aceptada posteriormente como estándar por la TIA norteamericana bajo el nombre IS-95 o, según la marca registrada por Qualcomm, cdmaONE y su sucesora CDMA2000. En efecto, los sistemas desarrollados por Qualcomm emplean tecnología CDMA, pero no son los únicos en hacerlo.

1.3.2.7. Hong Kong

Los servicios de televisión digital en movilidad comenzaron en Hong Kong en el año 2006 de la mano de la operadora de telefonía CSL y de su red 3G bajo la normativa 3GPP. La hongkonesa CSL es a su vez una empresa subsidiaria de la australiana Telstra, y se fusionó en 2006 con la empresa New World PCS para crear CLS New World Mobility Group, convirtiéndose así en la mayor operadora de telefonía de Hong Kong. Posteriormente, la disponibilidad de licencias para operar el espectro radioeléctrico 3G ha permitido que varias operadoras de telefonía comiencen a ofertar servicios de televisión digital en movilidad por *streaming* en Hong Kong.

Debido a la cercanía con China, desde el año 2008 se está estudiando el emplear el estándar CMMB (*China Mobile Multimedia Broadcasting*) en Hong Kong para dar servicios de televisión digital en movilidad. El gobierno hongkonés subastó en el año 2010 una licencia para la difusión de televisión digital en movilidad por vía terrestre empleando la tecnología china CMMB, que fue adquirida por 175 millones de dólares hongkoneses por la compañía City Telecom, posteriormente llamada Hong Kong Mobile Television Network Limited.

La compañía Hong Kong Mobile Television Network Limited (HKTV) ha sido objeto de controversia recientemente debido a que en diciembre de 2013 adquirió la licencia de emisión del espectro radioeléctrico de su competidora China Mobile Hong Kong por 142 millones de dólares hongkoneses, lo que le permitió aumentar su capacidad de ofertar servicios de televisión en movilidad por vía terrestre. Posteriormente, HKTV quiso actualizar sus servicios de televisión digital en movilidad cambiando el estándar CMMB por el DTMB (*Digital Terrestrial Multimedia Broadcasting*), con el objetivo de obtener una calidad superior en el vídeo. En enero de 2014, la OFCA (Office of Communication Authority) informó a HKTV que este plan de actualización podría violar la *Ordenanza de Radiodifusión*, lo que generó una fuerte agitación mediática.

1.3.2.8. La India

La India es el segundo mercado de telefonía móvil más grande del mundo, con unos 400 millones de usuarios calculados en el año 2009. Sin embargo, las licencias para explotar el espectro radioeléctrico 3G no se concedieron hasta finales de 2009, dando lugar a que

el espectro 2G estuviera muy congestionado.

Inicialmente, las licencias 2G fueron entregadas a cuatro operadores por estado, con dos licencias GSM²⁰ y dos licencias CDMA cada uno, además de a las compañías estatales MTNL y BSNL. Al mismo tiempo, los operadores locales que ya existían previamente recibieron licencias CDMA y, en el año 2007, también GSM, alcanzando la cifra de hasta 10 operadores de telefonía por estado. No obstante, las compañías públicas MTNL y BSNL obtuvieron las licencias para ofertar servicios 3G antes que ninguna otra operadora.

Actualmente, la mayoría de los grandes operadores (MTNL, BSNL, Tata Teleservices y Vodafone) han adoptado las tecnologías EDGE²¹ y CDMA2000, lo que les permite ofertar servicios de televisión digital en movilidad en *streaming*.

En el año 2010, el Ministerio de Comunicaciones y Tecnología de la Información subastó el espectro radioeléctrico 3G y 4G en una licitación muy competitiva. La compañía ganadora fue el conglomerado indio-japonés Tata DoCoMo, que se convirtió en el primer operador privado en lanzar servicios 3G en la India.

La India adoptó el sistema DVB-T (*Digital Video Broadcasting-Terrestrial*) para la difusión de televisión digital terrestre en julio de 1999. La primera transmisión DVB-T tuvo lugar el 26 de enero de 2003 y la llevo a cabo la cadena de televisión pública Doordarshan en las cuatro principales ciudades del país. El «Apagón Analógico» en la India se ha planificado en cuatro fases, con la fase final programada para 2015. En la actualidad, la transmisión de televisión terrestre está disponible tanto en digital como en analógico.

El gobierno indio ha aprobado recientemente una inversión de 564 millones de dólares para un plan de cinco años del Ministerio de Información y Radiodifusión que amplíe la infraestructura y la red de All India Radio (AIR) y Doordarshan. Bajo este plan,

²⁰ El sistema global para las comunicaciones móviles (del inglés *Global System for Mobile communications*, GSM, y originariamente del francés *Groupe Spécial Mobile*) es un sistema de telefonía móvil de segunda generación que se explica en el capítulo 2.

²¹ EDGE es el acrónimo para *Enhanced Data Rates for GSM Evolution* (Tasas de Datos Mejoradas para la evolución de GSM). También conocida como EGPRS (*Enhanced GPRS*). Es una tecnología de la telefonía móvil que actúa como puente entre las redes 2G y 3G. EDGE se considera una evolución de la tecnología GPRS (*General Packet Radio Service*). Se explica en el capítulo 2.

Doordarshan espera poder ampliar la capacidad de su servicio gratuito de televisión directa al hogar con 250 canales para el año 2017.

Doordarshan también opera una red DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*) en Delhi con un único transmisor situado en el centro de la ciudad en una torre de 100 metros de altura. El sistema comenzó a funcionar en el año 2007 con 8 canales, pero cuenta con 16 en la actualidad. Según la organización DVB, a finales de 2009 el plan consistía en desplegar servicios DVB-H en 17 ciudades de la India. Doordarshan sería la responsable de las torres de transmisión, fuentes de alimentación y gestión del espectro radioeléctrico; mientras que socios privados se encargarían de la agregación de contenidos, *marketing*, operación y mantenimiento, así como de los transmisores, antenas y la infraestructura asociada a la difusión de televisión digital en movilidad.

1.3.3. Implantación de la televisión digital en movilidad en España

Las experiencias comerciales iniciales en torno a la distribución y consumo de contenidos audiovisuales a través de dispositivos móviles en España se han apoyado exclusivamente en modelos de pago, a diferencia de otros países como Corea del Sur y Japón donde el visionado de televisión digital en movilidad es gratuito y ha alcanzado una elevada popularidad. Hasta que la televisión digital en movilidad en su modalidad *broadcast* sea una realidad en España, seguirán predominando las emisiones *unicast* mediante tecnologías 3G.

El 17 de marzo de 2007, la Comisión Europea adoptó oficialmente el estándar DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*) para la televisión digital en movilidad en el conjunto de países miembros de la Unión Europea. Previamente, se podía ver televisión digital en movilidad vía Internet mediante descarga o *streaming*.

En España, las primeras experiencias en torno a la televisión digital en movilidad comenzaron en julio de 2005, fecha en la que el Ministerio de Industria autorizó a los operadores a probar transmisiones en el estándar DVB-H, asignándoles frecuencias provisionales según lo previsto en el *Plan Técnico de la TDT*.

Las diversas pruebas piloto con DVB-H realizadas consistieron básicamente en la emisión de canales de televisión convencionales entre un número limitado de personas

que fueron dotadas de un dispositivo móvil apto para recibir tales emisiones, no en la experimentación sobre contenidos adecuados a los nuevos parámetros de recepción.

Entre septiembre de 2005 y febrero de 2006, se llevó a cabo en Madrid y Barcelona una experiencia piloto en la que participaron las empresas Abertis Telecom, Nokia, Telefónica Móviles, Antena 3 TV, Sogecable, Telecinco, TVE, Telemadrid y TV Catalunya. 500 usuarios pudieron recibir en sus teléfonos móviles los siguientes canales: TVE 1, La 2, Teleduarte, Canal 24h, Cuatro, CNN+, Jetix, Antena 3, Telecinco, FDF, TV3, 324, Telemadrid, La Otra e Intereconomía.

Entre diciembre de 2005 y marzo de 2006, se llevó a cabo en Sevilla y Valencia una experiencia piloto en la que participaron las empresas Abertis Telecom, Nokia, Vodafone España, Antena 3TV, Net TV, Sogecable, Telecinco, RTVA, RTVE, RTVV y Veo TV. 300 residentes en Sevilla y Valencia pudieron recibir en sus teléfonos móviles los siguientes canales: Antena 3, Net TV, Sogecable, Telecinco, RTVA, RTVE, RTVV y Veo TV.

Entre marzo y julio de 2006, se llevó a cabo en Zaragoza y Gijón una experiencia piloto en la que participaron Abertis Telecom, Amena, Antena 3 TV, Net TV, Sogecable, Telecinco, Aragón TV, Principado de Asturias TV y Veo TV. 125 residentes en Zaragoza y 75 residentes en Gijón pudieron recibir en sus teléfonos móviles los siguientes canales: TVE 1, Teleduarte, Canal 24 horas, Telecinco, Nova, Neox, Cuatro, 40 Latino, CNN+, Net TV, Veo TV, Aragón TV y TV Asturiana.

Las compañías Movistar y Vodafone fueron las responsables de proveer el servicio al cliente (facturación, atención al cliente y gestión de los servicios interactivos diseñados por los canales de televisión). Abertis distribuyó la señal a través de sus infraestructuras en Madrid y Barcelona (para Movistar), y en Sevilla (para Vodafone), y proveyó de las plataformas técnicas necesarias para la distribución de la señal DVB-H. Nokia facilitó a los 500 usuarios de las pruebas su dispositivo modelo 7710, que estaba especialmente diseñado para ser un receptor de televisión móvil pues venía equipado con un accesorio especial para recibir la señal. Los terminales de teléfonos móviles que aportó Nokia al experimento tenían una pantalla panorámica táctil a color y un reproductor de sonido estéreo, y permitieron a los usuarios acceder a servicios interactivos mientras veían los

programas.

Foto 5. Dispositivo Nokia 7710.



Hasta que los servicios de televisión digital en movilidad en su modalidad *broadcast* sean accesibles en España, el consumo seguirá estando dominado por las descargas y el vídeo y audio en *streaming*. Las principales operadoras de telefonía móvil controlan el mercado y ofrecen servicios de televisión digital en movilidad vía Internet (*unicast*) como, por ejemplo, Movistar con Imagenio Móvil.

El pasado 22 de diciembre de 2012, la filial española de la británica Vodafone comunicó que desde el 1 de enero de 2013 suspendía sus servicios de contenidos audiovisuales en sus plataformas de móvil y de ADSL debido a las pérdidas generadas por el gravamen a los operadores de telecomunicaciones para financiar el ente público RTVE. Resultaron afectados cerca de 10 000 de sus clientes abonados a los servicios de ADSL y alrededor de 100 000 que accedían a Vodafone TV desde su móvil. Según este operador, en el último ejercicio económico esa aportación le había supuesto 35 millones de euros superando ampliamente los ingresos obtenidos por el servicio de televisión en movilidad.

En España, gracias a las tarifas planas de datos y a la mejora de los dispositivos, ya es habitual ver televisión digital en el móvil vía tecnologías 3G. Por otro lado, la implementación de los servicios de televisión digital en movilidad en su modalidad *broadcast* depende de la asignación de una franja del espectro radioeléctrico para un *múltiplex* DVB-H. La implantación de la TDT supuso la liberación del llamado «Dividendo Digital», que constituía una oportunidad para superar la saturación del

espectro radioeléctrico. Tras el cese analógico, se esperaba que el «Dividendo Digital» se emplease para incrementar los servicios de televisión digital en movilidad como, por ejemplo, adjudicando frecuencias a DVB-H; pero actualmente el Ministerio de Industria tiene congeladas la adjudicación de esas frecuencias.

El 19 de septiembre de 2014 se aprobó el nuevo *Plan Técnico Nacional de la Televisión Digital Terrestre* que resuelve una reordenación de las frecuencias de televisión en la banda de los 790-862 MHz (correspondientes al «Dividendo Digital») tanto públicas como privadas, de alcance nacional y autonómico, para desplegar las nuevas redes de telefonía móvil de muy alta velocidad (LTE/4G) y extender su cobertura a todo el territorio.

El 20 de agosto de 2015, el secretario de Estado de Telecomunicaciones en la Comisión de Industria del Congreso de los Diputados anunció que el Ministerio de Industria, Energía y Turismo empezará el próximo año 2016 el estudio de alternativas para la ejecución del «Dividendo Digital» 2020, es decir, la liberación de parte del espectro radioeléctrico ocupado por canales de televisión para dedicarlo a las redes móviles y que sería el segundo tras el vivido entre el 2014 y 2015. Los planes iniciales del gobierno español para la realización del segundo «Dividendo Digital» consisten en la realización efectiva del proceso en el año 2020 previsiblemente, con el fin de liberalizar la banda de los 700 MHz, que facilitaría a internet móvil 4G llegar más fácilmente a las zonas rurales y en el interior de los edificios.

El Ministerio de Industria, Energía y Turismo también anunció el 31 de agosto de 2015 que próximamente iniciará el procedimiento de licitación de las bandas de frecuencia en el rango de los 2,6 GHz. Según este ministerio, la cobertura de las redes móviles 4G ya alcanza al 76% de la población española, cantidad que se verá incrementada con la utilización del espectro procedente del «Dividendo Digital».

CAPÍTULO 2. MARCO TECNOLÓGICO GENERAL

«No temo a los ordenadores, lo que temo es quedarme sin ellos».

Isaac Asimov

2.1. EVOLUCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS MULTIMEDIA DIGITAL

El mundo de la imagen digital es muy complejo. El transporte del vídeo digital a la multitud de dispositivos existentes hoy en día, desde teléfonos móviles a grandes pantallas de cine, pasando por pantallas de ordenador, televisores y PDAs, entre otros, conlleva la existencia de multitud de formatos y resoluciones. La capacidad de transportar esas señales de vídeo por vía terrestre empleando el satélite o el cable, así como las tecnologías de radiodifusión en movilidad como DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*) o ATSC M/H (*Advanced Television Systems Committee Mobile/Handheld*), además de las redes 3G, es posible gracias a los distintos estándares que definen los parámetros de las codificaciones de audio y vídeo, las transmisiones y la recepción.

Los elementos básicos de una transmisión multimedia digital son la imagen, que puede ser estática o en movimiento (vídeo), y el audio, que puede ir en una o varias pistas. Ambos, audio y vídeo, son tratados mediante estándares de codificación y compresión para, posteriormente, ser transmitidos mediante protocolos de red previamente definidos.

El vídeo digital en la red y en los sistemas de radiodifusión tradicionales ha empleado, tradicionalmente, diferentes resoluciones y técnicas de codificación. A medida que la difusión de vídeo digital comienza a dirigirse a los pequeños dispositivos móviles, los distintos formatos y técnicas de codificación cobran una importancia capital. Las redes móviles se caracterizan por emplear transmisiones mucho más lentas que las de la televisión convencional, y requieren que el audio y el vídeo sean comprimidos por

algoritmos altamente eficientes. Los dispositivos móviles ofrecen un entorno muy limitado para el vídeo digital, ya sea por el tamaño de la pantalla, las limitaciones energéticas, la potencia de los procesadores o la capacidad de memoria. Esto implica que la mayoría de dispositivos móviles dependen de formatos y estándares de vídeo digital creados específicamente para ellos.

A continuación, se hace un repaso de las tecnologías multimedia digital y su evolución.

2.1.1. La imagen

El elemento básico de la multimedia es la imagen. La imagen tradicionalmente se define por su brillo, color y tamaño. Por ejemplo, una imagen a toda pantalla en un monitor VGA (*Video Graphics Array*) tendrá 640x480 píxeles. El tamaño de la imagen dependerá del número de bytes empleados para representar cada píxel. Por ejemplo, si cada píxel de la imagen ocupa 3 bytes (24 bits), el tamaño de la imagen será $640 \times 480 \times 3 = 921\ 600$ bytes, o 922 kilobytes, o 922 KB. Esa imagen tendrá 0,92 megabytes, o 0,92 MB, y su calidad será de 0,3 megapíxeles ($640 \times 480 / 1\ 000\ 000$).

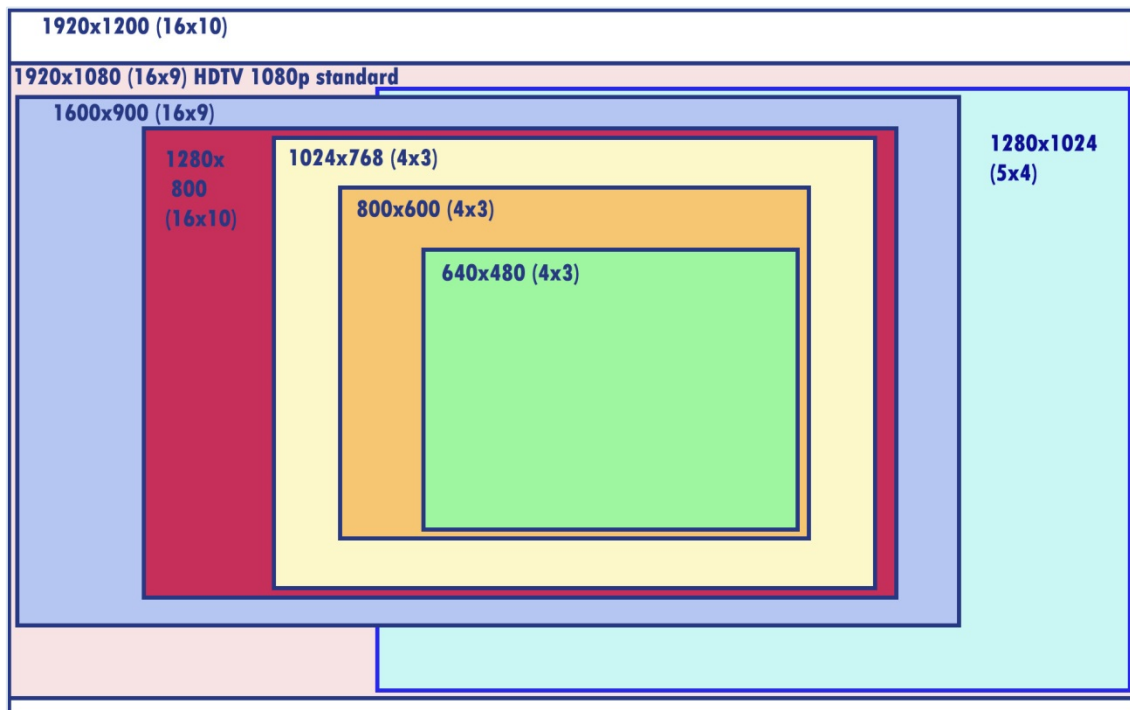
La misma imagen en un monitor XGA (*Extended Graphics Array*) tendrá 1024x768 píxeles, que multiplicados por 3 bytes da 2359,2 kB, o lo que es lo mismo, 2,4 MB. La resolución de la imagen será de 0,78 megapíxeles ($1024 \times 768 / 1\ 000\ 000$).

2.1.1.1. El tamaño de los archivos de imagen

Una imagen digital está compuesta por píxeles, y el número de píxeles de la imagen será uno de los factores determinantes del tamaño del archivo que la contenga. Una imagen transmitida en definición de televisión estándar, 720x576 píxeles en PAL o 720x468 píxeles en NTSC, tiene alrededor de 400 000 píxeles. Esa misma imagen podría presentarse en una pantalla de un dispositivo móvil más pequeña, de 352x240 píxeles, necesitando sólo 84 000 píxeles. Una transmisión en alta definición (HDTV) requiere de 1920x1080 píxeles, llegando a ocupar más de 2 millones de píxeles en la pantalla.

Como norma general, los distintos tamaños de pantalla y resoluciones conllevan distintas cantidades de píxeles. El número de píxeles, así como los bits asignados a cada píxel, tienen un impacto directo en la calidad de la imagen, así como en el tamaño del fichero que la alberga.

Figura 6. Distintos tipos de formatos de pantalla y sus píxeles.



2.1.1.2. Resoluciones y formatos de imagen

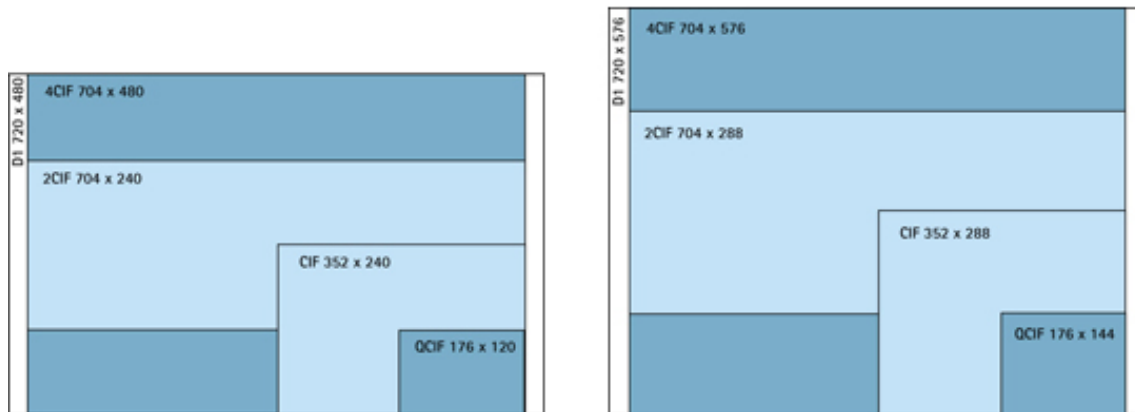
Existen multitud de formatos de imagen que se pueden emplear para transportar vídeo con bajas tasas de transmisión de datos y a baja resolución. Uno de los primeros formatos con estas características fue CIF (*Common Intermediate Format*), que era empleado en las primeras aplicaciones de videollamada. Como las líneas RDSI sólo soportaban tasas de 64-128 kbps, las resoluciones de pantalla completa eran imposibles. El formato CIF se define como 352x240, que significa que proporciona 240 líneas de 352 píxeles cada una. Existe un formato menor, el QCIF (*Quarter CIF*), que se usa en redes con poco ancho de banda y en páginas web, y que proporciona una resolución de 178x144 píxeles. Los formatos CIF y QCIF han sido tan empleados en el campo de las telecomunicaciones que se han convertido en un modo de referirse al tamaño de las «ventanas» en el entorno de Internet.

La radiodifusión de televisión analógica se basa en tres estándares: PAL (*Phase Alternating Line*), NTSC (*National Television System Committee*) y SECAM (*Séquentiel Couleur à Mémoire*). Los parámetros de transmisión del sistema PAL son 625 líneas y 50 campos por segundo, el NTSC tiene 525 líneas y 60 campos por segundo, y el SECAM original tenía 819 líneas y 50 campos por segundo. En cualquier

caso, el número real de líneas activas en cada estándar es menor, siendo de 576 para el PAL y de 480 para el NTSC.

La señal de televisión digital original se regularizó en torno al estándar MPEG-1, que empleaba el sistema SIF (*Source Input Fomat*), y que se definió en 360x288 (352x288) para el PAL y 360x240 (352x240) para el NTSC. Esa era la resolución de los VCDs o *Video-CDs*. El SIF del PAL es idéntico al CIF empleado en el campo de las telecomunicaciones, salvo por la relación de aspecto que es de 1,22 en el CIF y de 1,33 (4/3) en el PAL.

Figura 7. A la izquierda, diferentes resoluciones de imagen NTSC. A la derecha, diferentes resoluciones de imagen PAL. Imagen tomada del sitio: Axis Communications.
http://www.axis.com/es/products/video/about_networkvideo/resolution.htm



En el entorno de la informática, se suele mencionar la resolución de los monitores en base al estándar VGA (640x480). Así se tienen resoluciones grandes como XGA (1024x768) o SXGA (1280x1024), además de resoluciones pequeñas como QVGA (320x240), que es un formato común en las aplicaciones de televisión digital en movilidad, junto con el VGA (*Video Graphics Array*) y el CIF. Al formato QVGA (*Quarter Video Graphics Array*) también se la llama en ocasiones *Standard Interchange Format* (SIF), y representa en el entorno de la informática lo mismo que el *Source Input Fomat* (SIF) en el entorno de las telecomunicaciones. Y existen aún más tamaños de definición de imagen como el QSIF (160x120), entre otros.

A medida que los monitores y pantallas mejoraban en resolución y aumentaba el número de píxeles, la relación de aspecto de las pantallas ha ido derivando del 4:3 al 16:9.

Tabla 2. Formatos típicos de resolución.

Radiodifusión			Telecomunicaciones			Informática		
Formato	Píxeles	Aspecto	Formato	Píxeles	Aspecto	Formato	Píxeles	Aspecto
SIF(PAL)	352x288	4:3	QVGA	320x240	4:3	CIF	352x288	1,2:1
SIF(NTSC)	352x240	4:3	CGA	320x200	1,2:1	QCIF	176x144	1,2:1
480i (SDTV NTSC)	704x480	4:3/16:9	VGA	640x320	1:1	4CIF	704x576	1,2:1
480p (SDTV NTSC)	704x480	4:3/16:9	WQVGA	400x240	5:3	16CIF	1408x1152	1,2:1
720p (HDTV)	1280x720	16:9	WVGA	768x480	8:5	SQCIF	128x96	1,33:1
1080i,1080p	1920x1080	16:9	SVGA	800x600	4:3	Web720X	720x540	4:3
HDTV QSIF	176x144	4:3	XGA	1024x768	4:3	Web720HD	720x400	16:9
Cinema 2K	1998x1080	1,85:1	WSXGA	1280x720	16:9	Web360X	360x270	4:3
Cinema 4K	3996x2160	1,85:1	SXGA	1280x1024	5:4	Web360HD	360x203	16:9
Academy 2K	1828x1332	1,37:1	WXGA	1368x766	16:9	Web640X	640x480	4:3
Academy 4K	3656x2664	1,37:1	UXGA	1600x1200	4:3	Web640HD	480x270	16:9

Existe diferencia entre los conceptos de resolución y calidad de imagen. La calidad depende de los píxeles por pulgada (*pixels per inch* en inglés o ppi). Una imagen en alta definición con una resolución de 1920x1080 píxeles parecerá que tiene una gran calidad en un monitor de televisión estándar de 21 pulgadas, pero proyectada en una gran pantalla de cine de 12 metros de ancho no tendrá los suficientes píxeles por pulgada para proporcionar una buena calidad de imagen. El cine digital emplea normalmente resoluciones de 4096x3112 y 12 millones de píxeles por imagen, en contraste con los 2 millones que emplea la alta definición.

La mayoría de los teléfonos móviles actuales soportan resoluciones de 320x240, 640x480 e incluso alta definición. El Iphone 5, por ejemplo, tiene una resolución de 640x1136 píxeles que proporcionan 326 ppi, lo que le dota de una gran calidad de imagen percibida.

Por lo general, las pantallas de los teléfonos móviles de gama media sólo muestran imágenes en baja resolución. Muchos dispositivos móviles tienen cámaras de baja resolución instaladas en el lado de la pantalla para ser empleadas en los servicios de videollamada. La cámara principal de los teléfonos, por el contrario, puede alcanzar resoluciones de hasta 13 megapíxeles, que no podrán ser apreciados en su totalidad si son mostrados en la pantalla del dispositivo ya que éste carece de la capacidad de representar una resolución tan alta. El empleo de altas resoluciones conlleva el uso de un gran número de píxeles y debería adecuarse a las necesidades y tamaños requeridos

por la imagen, por ejemplo, una fotografía de carnet debería tener aproximadamente 0,3 megapíxeles y una resolución de 640x480 píxeles.

2.1.1.3. Compresión de imágenes

La transmisión de imágenes sin comprimir no resulta práctica debido al gran tamaño de los archivos y al tiempo que consumiría su transmisión, especialmente si es para su uso en Internet o *email*. Existen muchas técnicas que se pueden emplear para reducir el tamaño de un archivo de imagen: se puede reducir el tamaño de la imagen para adaptarse a las necesidades del receptor, se puede modificar el número de bytes necesario para representar cada píxel o se puede recurrir a la compresión.

Existen multitud de formatos de imagen que emplean diferentes técnicas y ratios de compresión en aras de mejorar la portabilidad y calidad de la imagen. Y también en ocasiones es necesario mantener el archivo original sin comprimir, ya sea por motivos de conservación y almacenamiento, o para su publicación en grandes formatos.

2.1.1.3.1. JPEG

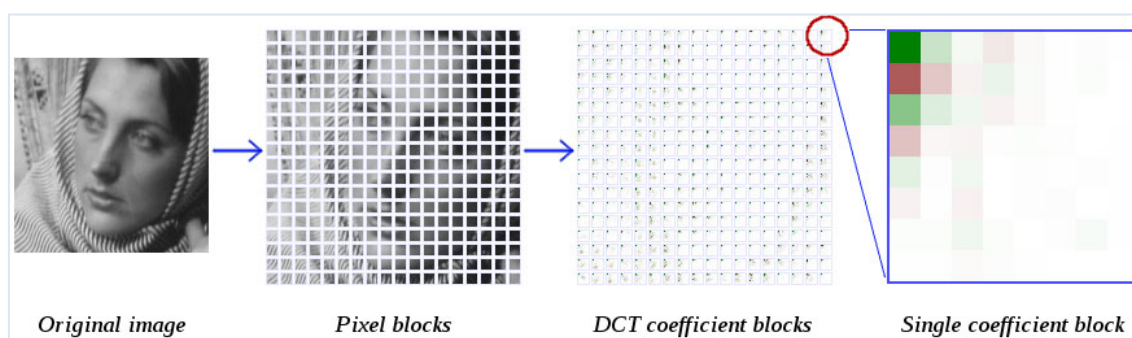
JPEG (del inglés *Joint Photographic Experts Group*, Grupo Conjunto de Expertos en Fotografía) es el nombre del comité de expertos que creó el estándar de compresión y codificación de archivos e imágenes fijas que lleva su nombre. Además de ser un método de compresión, JPEG es a menudo considerado como un formato de archivo. JPEG es el formato de imagen más común utilizado por las cámaras fotográficas digitales y otros dispositivos de captura de imagen, además de ser empleado para el almacenamiento y la transmisión de fotografías en Internet.

El formato JPEG utiliza habitualmente un algoritmo de compresión con pérdidas para reducir el tamaño de los archivos de imágenes, lo que significa que al descomprimir o visualizar la imagen no se obtiene exactamente la misma imagen de la que se partía antes de la compresión. El algoritmo de compresión JPEG se basa en dos fenómenos visuales del ojo humano: uno es el hecho de que el ojo es mucho más sensible al cambio en la luminancia que en la crominancia es decir, capta más claramente los cambios de brillo que de color; el otro es que el ojo percibe con más facilidad pequeños cambios de brillo en zonas homogéneas que en zonas donde la variación es grande, por ejemplo, en

los bordes de los cuerpos de los objetos.

JPEG emplea una técnica llamada Transformación Discreta de Coseno (DCT o *Discrete Cosine Transform*). Mediante este proceso, cada componente de la imagen se divide en pequeños bloques de 8×8 píxeles que se procesan de forma casi independiente, lo que disminuye notablemente el tiempo de cálculo. De esto resulta la típica formación cuadriculada visible en las imágenes guardadas con alta compresión. Después, cada pequeño bloque se convierte al dominio de la frecuencia a través de la Transformación Discreta de Coseno. El ojo humano es muy bueno detectando pequeños cambios de brillo en áreas relativamente grandes, pero no cuando el brillo cambia rápidamente en pequeñas áreas (variación de alta frecuencia). Debido a esta condición, se pueden eliminar las variaciones en las altas frecuencias sin pérdida excesiva de calidad visual. Esto se realiza dividiendo cada componente en el dominio de la frecuencia por una constante para ese componente y redondeándolo luego a su número entero más cercano. Este es el proceso en el que se pierde la mayor parte de la información (y calidad) cuando una imagen es procesada por este algoritmo. El resultado es que los componentes de las altas frecuencias tienden a igualarse a cero, mientras que muchos de los demás componentes se convierten en números positivos y negativos pequeños. Por último, se aplica la Codificación Entrópica, una forma especial de compresión sin pérdida de datos que toma los elementos de la matriz siguiendo una forma de zig-zag, poniendo grupos con frecuencias similares juntos e insertando ceros de codificación, y se aplica la Codificación Huffman para el resto de elementos.

Figura 8. Ejemplo de técnica de Transformación Discreta de Coseno (DCT). Imagen tomada del sitio: Xiph.org. <http://xiph.org/~xiphmont/demo/daala/demo1.shtml>



En la mayoría de los casos, gracias al empleo de JPEG, se pueden alcanzar ratios de

compresión de 20:1 sin una notoria pérdida de calidad. El problema de esta técnica es que, una vez aplicada, las altas frecuencias ya no son recuperables de nuevo, por lo que los estudios y editores profesionales tienden a almacenar sus imágenes en formatos sin comprimir; lo que no ha impedido que JPEG esté ampliamente extendido en el entorno de Internet y de las aplicaciones informáticas.

2.1.1.3.2. GIF

GIF (*Graphics Interchange Format* o Formato de Intercambio de Gráficos) es un formato gráfico utilizado ampliamente en Internet, tanto para imágenes como para animaciones. Fue creado por CompuServe en 1987 para dotar de un formato de imagen en color a su servicio de descarga de archivos, sustituyendo su temprano formato RLE (*Run-Length Encoding*) en blanco y negro. GIF llegó a ser muy popular porque podía usar el algoritmo de compresión LZW (*Lempel Ziv Welch*) para realizar la compresión de la imagen, que era más eficiente que el algoritmo RLE. Gracias a GIF, imágenes de gran tamaño podían ser descargadas en un razonable periodo de tiempo, incluso con módems muy lentos.

GIF es un formato sin pérdida de calidad para imágenes con hasta 256 colores, limitados por una paleta restringida a este número de colores. Por ese motivo, con imágenes con más de 256 colores (profundidad de color superior a 8 bits), la imagen debe adaptarse reduciendo sus colores lo que conlleva una pérdida de calidad.

Una imagen GIF puede contener entre 2 y 256 colores (2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 o 256) de entre los 16,8 millones de su paleta. Por lo tanto, dado que la paleta tiene un número de colores limitado (no limitado en cuanto a colores diferentes), las imágenes que se obtiene con este formato son, por lo general, muy pequeñas.

Hay que comentar también que el algoritmo de compresión LZW está patentado, por lo que los editores de *software* que usan imágenes GIF deben pagar regalías a Unisys, la compañía propietaria de los derechos.

2.1.1.3.3. BMP

BMP (*Bitmap*) es un formato de imagen de mapa de bits propio del sistema operativo Microsoft Windows. Puede albergar imágenes de 24 bits (16,7 millones de colores), 8

bits (256 colores) y menos. BMP emplea una compresión sin pérdida de calidad llamada RLE (*Run-Length Encoding*).

Los archivos de mapas de bits se componen de direcciones asociadas a códigos de color, uno para cada cuadro en una matriz de píxeles tal como se esquematizaría un dibujo de "colorea los cuadros" para niños pequeños. BMP se caracteriza por ser muy poco eficiente en su uso del espacio en disco, pero a cambio ofrece un buen nivel de calidad. Otra desventaja de los archivos BMP es que no son apropiados para páginas web debido a su gran tamaño en relación a su resolución.

Tabla 3. Formatos de imagen típicos.

Formatos de imagen	
bmp	<i>Bitmap</i>
exif	<i>Exchange Image File Format</i>
gif	<i>Graphical Interchange Format</i>
jpeg	<i>Joint Photographic Expert Group</i>
paint/pict	<i>MacPaint and MacDraw</i>
pdf	<i>Portable Document Format</i>
png	<i>Portable Network Graphics</i>
tiff	<i>Tagged Image File Format</i>
wmf	<i>Windows Metafile</i>

2.1.2. El vídeo

El vídeo sirve para representar escenas en movimiento, lo que requiere aportar información constante de los objetos a medida que se mueven. Las tecnologías de vídeo se basan en los principios de persistencia de la visión, que explican cómo una imagen permanece en la retina humana una décima de segundo antes de desaparecer por completo. Esto permite que veamos la realidad como una secuencia de imágenes ininterrumpidas y que podamos calcular fácilmente la velocidad y dirección de un objeto que se desplaza. Nuestro ojo ve con una cadencia de 10 imágenes por segundo. En virtud de dicho fenómeno, las imágenes se superponen en la retina y el cerebro las "enlaza" como una sola imagen visual, móvil y continua. Aprovechándonos de este principio, es posible transmitir un predeterminado número de imágenes (llamadas cuadros o *frames* en inglés) por segundo de modo que el ojo humano no pueda percibir

una ruptura de continuidad en el movimiento. Este es el principio que emplean las proyecciones cinematográficas, con sus 24 fotogramas por segundo, para proporcionar una sensación de movimiento constante.

2.1.2.1. La generación de la señal de vídeo: el escaneado

Los cuadros (*frames* en inglés) tienen su origen en la cámara, que captura una serie de imágenes llamadas cuadros que después son agrupadas juntas en un flujo de datos junto con uno o dos canales de audio. Cada cuadro es, en esencia, una imagen aislada, y la sensación de movimiento se consigue transmitiendo 25 o 30 cuadros por segundo (dependiendo de si es sistema PAL o NTSC).

El primer paso para generar vídeo a partir de imágenes es el escaneado. La cámara normalmente mide la intensidad del brillo y la información del color de una imagen trazando una línea de escaneado horizontal a lo largo de la imagen. Cuando muchas de esas líneas se juntan (625 en PAL y 525 en NTSC) se forma la imagen completa.

Figura 9. Escaneado de imágenes. Imagen tomada del sitio: Electronic Arts Intermix.
<http://www.eai.org/webPage.htm?id=79>

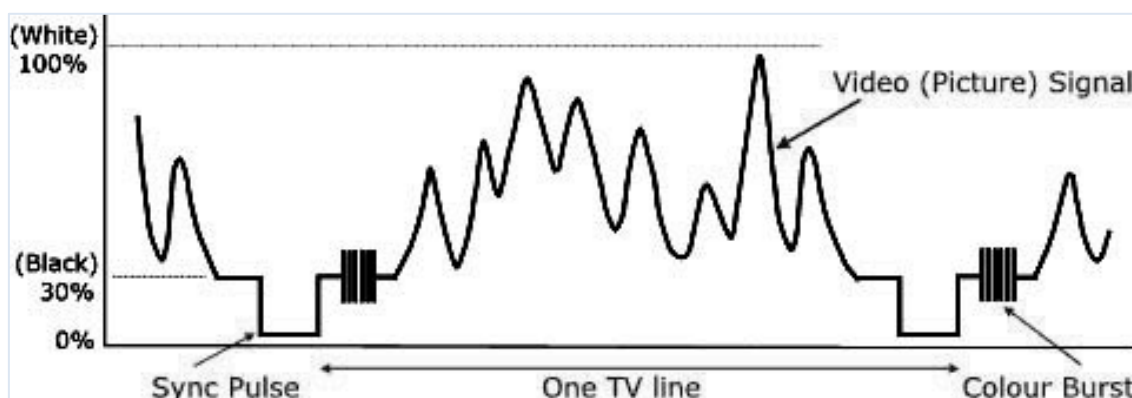


En el vídeo analógico, durante el escaneado el haz en su trazada recoge información de la luminancia, la crominancia y los sincronismos, generando una representación horizontal en forma de onda que se interpreta de la siguiente manera: la amplitud de la señal de vídeo es de 1 voltio «de pico a pico», estando la parte de la señal que porta la información de la imagen por encima del nivel de 0,3 V y la de sincronismos por debajo. La parte positiva puede llegar hasta 1 V para el nivel de blanco,

correspondiendo al negro los 0,3 V, y los sincronismos son pulsos que llegan hasta los 0 V. La señal así obtenida es la de la luminancia con sus sincronismos, a la que se suma la de crominancia que se monta encima de la de luminancia sincronizándose mediante la llamada «salva de color».

El ancho de banda de la señal de luminancia suele ser del orden de 5 MHz, pero depende del sistema empleado. La crominancia es una señal modulada en cuadratura (es decir en amplitud y en fase). A la señal portadora de la crominancia se la denomina «subportadora de color» y es una frecuencia próxima a la parte alta de la banda que en PAL corresponde a los 4,43 MHz; evidentemente, esta frecuencia tiene relación con el resto de frecuencias fundamentales de la señal de vídeo que están referenciadas en la frecuencia de campo que toma como base y que, por cuestiones históricas, coincide con la frecuencia de la red de suministro eléctrico, 50 Hz en Europa y 60 Hz en muchas partes de América.

Figura 10. Esquema de la señal de vídeo. Imagen tomada del sitio: Uncletony TV Stuff.
<http://web.onetel.com/~uncletony/tv-stuff.htm>



2.1.2.2. Escaneado entrelazo y progresivo

El escaneado entrelazado o exploración entrelazada (*interlaced scanning*) es un sistema de captación y representación de imágenes utilizado en televisión para evitar el parpadeo o «flicker» que se producía en la representación de las imágenes de televisión sobre pantallas de tubo.

La exploración entrelazada o escaneado entrelazado es una característica de los sistemas de televisión PAL, NTSC y SECAM, así como de algunos otros desarrollados

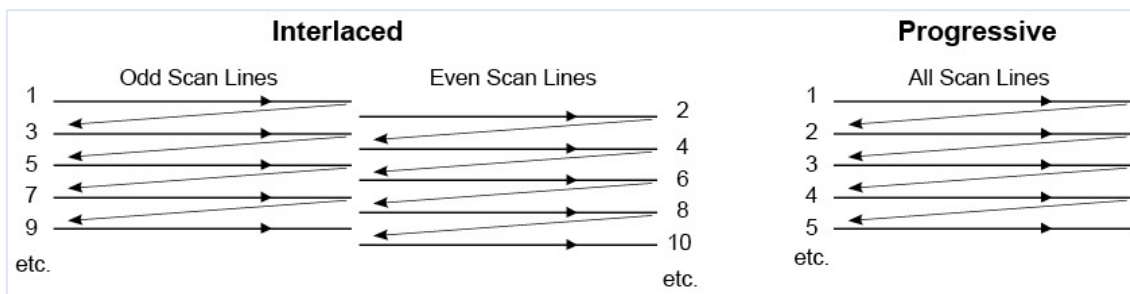
posteriormente, que consiste en dividir cada cuadro (*frame*) de la imagen en dos semicuadros iguales denominados campos (*field*), de forma que las líneas resultantes queden imbricadas entre sí alternadamente por superposición. Uno de los campos contiene las líneas pares (campo par), mientras que el otro contiene las impares (campo impar), y al comienzo de cada uno de ellos se sitúa el sincronismo vertical. Existe un desfase de media línea entre un campo y otro para que así el campo par explore la franja de imagen que dejó libre el campo impar. El escaneado entrelazado de un cuadro en dos campos exige que el número de líneas del cuadro sea impar para que la línea de transición de un campo al otro sea divisible en dos mitades.

En los sistemas de televisión de 625 líneas, el cuadro es descompuesto en dos campos de 312,5 líneas que se insertan como un peine dando una representación de 50 campos que hacen 25 cuadros (*frames*) por segundo. En el caso de los sistemas de 525 líneas, los campos son de 262,5 líneas y se representan a razón de 60 campos que hacen 30 cuadros por segundo. La proximidad entre las líneas consecutivas y las limitaciones del sistema visual humano hacen que el ojo del espectador integre los dos campos como una imagen completa (un cuadro), obteniendo la sensación de que estas se van refrescando al doble de la frecuencia real. Con este método se consigue mantener un caudal de información reducido, es decir, un menor ancho de banda a transmitir, pero suficiente para que en la recepción se obtenga la representación de las imágenes sin que aparezca el fenómeno de parpadeo o «*flicker*».

El escaneado progresivo o exploración progresiva (*progressive scanning*) de una imagen se realiza de la misma manera que se lee un libro, se divide la imagen en líneas y se leen de izquierda a derecha y de arriba abajo.

El escaneado entrelazado no funciona bien en los monitores de ordenadores o en las pantallas de dispositivos móviles. Los monitores de ordenador suelen representar imágenes pequeñas y caracteres muy finos, lo que provoca el fenómeno de parpadeo o «*flicker*» cuando se les aplica la exploración entrelazada. Estos dispositivos emplean siempre el escaneado progresivo que da mejores resultados, así como la mayoría de los sistemas de televisión digital, la alta definición y las actuales pantallas de plasma.

Figura 11. Escaneado entrelazado y progresivo. Imagen tomada del sitio: Avtutes.com
http://avtutes.com/?page_id=374



2.1.2.3. El color

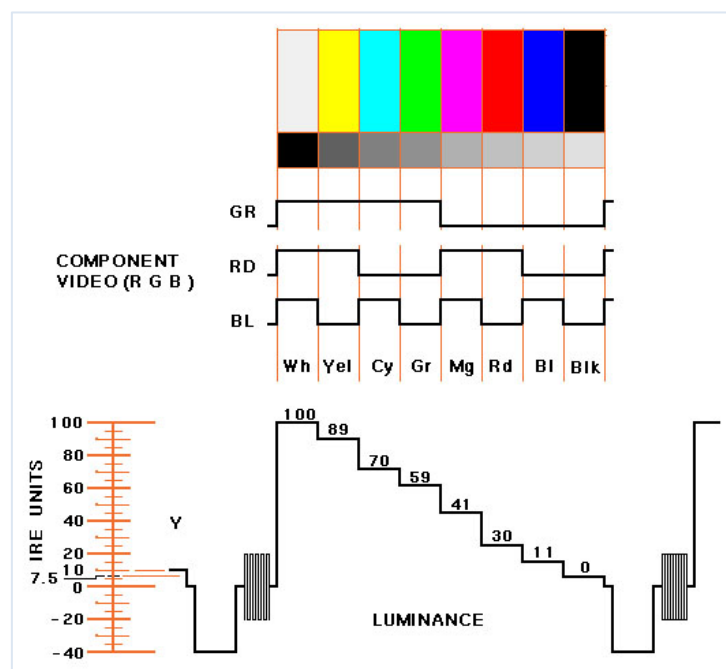
El ojo humano es sensible a la luz. Cuando la luz penetra en el ojo pasa a través de la córnea, la pupila y el cristalino, y llega por último a la retina, donde la energía electromagnética de la luz se convierte en impulsos nerviosos que pueden ser interpretados por el cerebro. En la retina se encuentran dos tipos de células receptoras: los conos y los bastones. Los conos se relacionan con la visión en color, la visión diurna, y los bastones con la visión nocturna. Existen más de 100 millones de bastones en el ojo humano y cerca de 4 millones de conos. Hay que destacar que el color no es una propiedad de la luz o de los objetos reflejantes, sino que es una sensación cerebral. Los humanos y algunos primates ven los colores como resultado de la interacción de la luz en el ojo a través de la estructura ocular de los conos que perciben la energía de los fotones y transmiten esa sensación al cerebro.

Para saber cómo es percibido el color hay que tener en cuenta que existen tres tipos de conos con respuestas diferentes, y que son sensibles a los colores que forman la terna RGB (*Red, Green and Blue*). Aunque los conos que reciben información del verde y el rojo tienen una curva de sensibilidad similar, la respuesta al color azul es una veintava (1/20) parte de la respuesta a los otros dos colores. Este hecho lo aprovechan algunos sistemas de codificación de imagen, como el JPEG, "perdiendo" de manera consciente más información de la componente azul ya que el ser humano no percibe esta pérdida.

RGB es el tratamiento de la señal de vídeo que trabaja por separado las señales de los tres colores: rojo, verde y azul, proporcionando así una mayor calidad y una reproducción más fiel del color. Pero existen otros tratamientos de la señal de vídeo más eficaces, como los que separan la señal de luminancia de los componentes del color y

los transmiten por separado. El modelo YUV, usado en los sistemas de vídeo en color PAL y NTSC, define un espacio de color en términos de una componente de luminancia (Y) y dos componentes de crominancia (UV). Los sistemas monocromáticos anteriores usaban solamente la información de luminancia (Y). La información de color (UV) fue añadida por separado mediante la modulación de una «subportadora de color», de modo que un receptor de blanco y negro pudiera ser capaz de recibir una transmisión de color en el formato monocromático propio del equipo. La señal de color U corresponde al color azul menos la luminancia (B-Y), y la señal de color V corresponde al color rojo menos la luminancia (R-Y). La información del color verde se obtiene posteriormente aplicando la ecuación $Y=0,30R+0,59G+0,11B$.

Figura 12. Representación de la señal RGB de unas barras de color. Imagen tomada del sitio: 8052.com. <http://www.8052.com/forum/read/23773>



Como el ojo humano percibe los colores con menos detalle que la luminancia, el ancho de banda de la señal de color puede ser menor. Por ejemplo, en el sistema PAL, el canal de luminancia es transmitido con un ancho de banda de 5,5 MHz, mientras que los canales U y V son transmitidos con 1,5 MHz. En el sistema NTSC, los canales de color se transmiten a 1,3 MHz y la luminancia a 4,2 MHz.

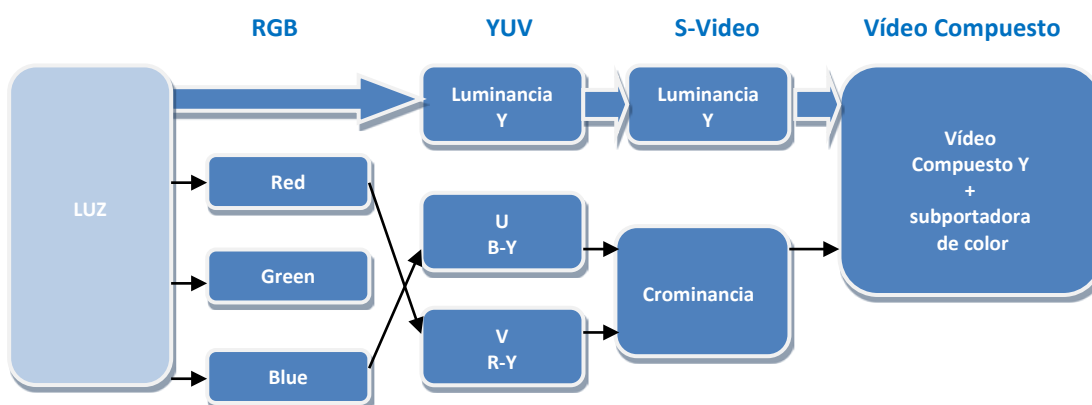
2.1.3. Formatos de televisión analógica

El vídeo analógico comprende los componentes de color R, G y B, que pueden ser transportados separadamente mediante tres cables diferentes. La mayoría de monitores de ordenador tienen conectores para los tres cables del formato de vídeo por componentes RGB. En el entorno de la televisión, se emplea el formato de vídeo por componentes YUV para garantizar la compatibilidad con los dispositivos monocromo.

Pero en el momento en que hay que transportar la señal de vídeo a distancias grandes, el método de emplear tres cables no resulta tan adecuado y se tiende a emplear una técnica denominada de vídeo compuesto. La señal de vídeo compuesto comprende el componente de la luminancia (Y), que además ha sido modulado con una subportadora con la información del color, requiriendo un único cable para su transporte.

También existe una técnica, denominada S-Video, que combina los componentes de color en una única señal que mantiene separada de la luminancia, necesitando sólo dos cables para su transporte, uno para la luminancia (Y) y otro para la señal de color (C). Los conectores de S-Video solían ser comunes en los equipos de vídeo doméstico de alta gama.

Figura 13. Esquema de las señales de vídeo analógicas.



2.1.4. Formatos de televisión digital

La conversión analógica-digital (conversión A/D) o digitalización consiste en la transcripción de señales analógicas en señales digitales con el propósito de facilitar su procesamiento (codificación, compresión, etc.) y hacer la señal resultante más inmune al

ruido y a otras interferencias a las que son más sensibles las señales analógicas.

Una señal analógica es aquella cuya amplitud (típicamente tensión de una señal que proviene de un transductor y un amplificador) puede tomar en principio cualquier valor, lo que significa que su nivel en cualquier muestra no está limitado a un conjunto finito de niveles predefinidos, como es el caso de las señales digitales.

La digitalización consiste básicamente en realizar de forma periódica medidas de la amplitud (tensión) de una señal, por ejemplo, la que proviene de una cámara, el tiempo suficiente para permitir evaluar su nivel (cuantificación). Si no se emplea un número suficiente de niveles de cuantificación en el proceso de digitalización, la relación señal-ruido resultante será muy alta. Para evitar esto, el muestreo se realiza siguiendo lo postulado por el teorema de muestreo de Nyquist-Shannon, que dice que para poder replicar con exactitud (es decir, siendo matemáticamente reversible en su totalidad) la forma de una onda es necesario que la frecuencia de muestreo sea superior al doble de la máxima frecuencia a muestrear. Por ejemplo, en audio, la máxima audiofrecuencia perceptible para el oído humano está en torno a los 20 kHz, por lo que teóricamente una frecuencia de muestreo de 40 000 sería suficiente para replicar su forma de onda; no obstante, el estándar introducido por el disco compacto (CD) se estableció en 44 100 (44,1 kHz) muestras por segundo dejando así un pequeño margen de seguridad.

Después del muestreo, el proceso de la digitalización continúa con la cuantificación, mediante la cual se mide el nivel de voltaje de cada una de las muestras. Acto seguido, se procede a la codificación, que consiste en traducir los valores obtenidos durante la cuantificación al código binario. Hay que tener presente que el código binario es el más utilizado, pero existen otros tipos de códigos que también se pueden emplear.

Durante el muestreo, la señal aún es analógica puesto que todavía puede tomar cualquier valor. No obstante, a partir de la cuantificación la señal ya toma valores finitos convirtiéndose en una señal digital.

Para realizar el muestreo de la televisión analógica se suele coger la señal YUV, con sus componentes de luminancia, diferencia de azul y diferencia de rojo, que son combinados para generar una representación digital de la señal. El muestreo de las

señales de color se realiza a tasas más bajas que la luminancia, sin pérdida apreciable de calidad. Normalmente, los componentes U y V se codifican a la mitad de tasa de bits que la luminancia (Y), y se denota con la nomenclatura 4:2:2 que indica que por cada cuatro muestras de Y se han tomado dos muestras de U y dos de V.

La tasa de bits se puede reducir aún más si sólo se muestrea el color en líneas alternativas, llamándose este sistema 4:2:0. Existen múltiples variantes como el 3:1:1, el 4:1:1 o el 4:4:4, todos con distintas calidades.

En el 4:2:2, los sistemas PAL (576 líneas) y NTSC (480 líneas) tienen cada línea horizontal representada por 720 muestras para la luminancia (Y) y 360 para cada componente de color (U y V). Las muestras son representadas digitalmente por 10 bits cada una. Hay que recordar que existe una diferencia entre las líneas de la imagen (625 en PAL) y las líneas que realmente transportan información de vídeo (576 en PAL). En el vídeo digital, el espacio disponible (tanto vertical como horizontal) de estas áreas auxiliares de las líneas de imagen es empleado para transportar un par de canales de audio estéreo.

Tabla 4. Tasas de muestreo recomendadas para vídeo digital por componentes PAL.

4:2:2	Luminancia: 13,5 MHz. Crominancia 6,75 MHz (2 x 3,375 MHz)
4:1:1	Luminancia: 13,5 MHz (4 x 3,375 MHz). Crominancia (3,375 MHz)
4:2:0	Luminancia: 13,5 MHz. Crominancia 6,75 MHz (intercalada)
4:4:4	Luminancia y crominancia a 13,5 MHz

Tabla 5. Líneas activas en estándares de vídeo digital.

	Área completa con sincronismo		Área de imagen		Frames
	Ancho	Alto	Ancho	Alto	
NTSC	864	525	720	486	29,97
PAL/SECAM	864	625	720	576	25

Una señal analógica que se muestrea y convierte en digital en un formato sin compresión y sin encriptación (RGB), que incluya audio opcional, se suele transportar mediante una interfaz de vídeo digital estandarizada llamada SDI (*Serial Digital Interface*). Se trata de un estándar exclusivo para dispositivos profesionales, ya que en

muchos acuerdos de concesión de licencias se restringe el uso de señal sin encriptar para su uso en equipos profesionales y se prohíbe su uso para dispositivos domésticos. Esta interfaz está especialmente diseñada para operaciones en distancias muy cortas (aproximadamente 300m) y con tasas de bits muy elevadas que impiden las transmisiones a larga distancia. SDI utiliza datos no comprimidos.

Tabla 6. Estándares de SDI según la SMPTE.

Formato de vídeo	Estándar SMPTE	Tasa de bits
480i, 576i (SD-SDI)	SMPTE 259M	270 Mbps
480p, 576p	SMPTE 344M	540 Mbps
1080i, 720p (HD-SDI)	SMPTE 292M	1,485 Gbps
1080p (<i>Dual-Link</i> SDI)	SMPTE 272M	2,970 Gbps

Los dispositivos con pantallas pequeñas que emplean señales en CIF (*Common Intermediate Format*) y QCIF (*Quarter Common Intermediate Format*) suelen emplear un muestreo 4:2:0 de acuerdo a las recomendaciones de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones). El formato CIF utiliza 288 líneas para la información de luminancia, con 360 píxeles por línea, y 144 líneas para la crominancia, con 180 píxeles por línea. El formato QCIF emplea 144 líneas para la luminancia, con 180 píxeles por línea, y 72 líneas para la crominancia, con 90 píxeles por línea.

Tabla 7. Estándares de vídeo de la UIT.

	CCIR 601 525/60 NTSC	CCIR 601 625/50 PAL/SECAM	CIF	QCIF
Luminancia	720x480	720x576	352x288	176x144
Crominancia	360x480	360x576	176x144	88x72
Submuestreo	4:2:2	4:2:2	4:2:0	4:2:0
Campos/s	60	50	30	30
Entrelazado	Sí	Sí	No	No

Los dispositivos con pantalla pequeña que emplean formatos como CIF y menores suelen emplear el escaneo progresivo (p) en lugar del entrelazado (i).

Tabla 8. Estándares para dispositivos con pantallas pequeñas.

Formato	Resolución	Frames	YUV
CCIR 601 (PAL)	720x576	25i	4:2:2
SIF (PAL)	352x288	25p	4:2:2
CCIR 601 (NTSC)	720x480	30i	4:2:2
SIF (NTSC)	352x240	30p	4:2:0
CIF	352x288	30p	4:2:0
QCIF	176x144	30p	4:2:0

2.1.5. Técnicas de reducción de la tasa de transmisión de bits

La señal SDI de 270 Mbps es el estándar de vídeo digital en definición estándar para uso profesional. Sin embargo, para la mayoría de sistemas de transmisión y difusión de señal, se hace necesario el reducir la tasa de transmisión de datos al tiempo que se conserva una calidad aceptable. Esta reducción se puede alcanzar mediante dos técnicas: el escalado y la compresión.

2.1.5.1. El escalado

En aplicaciones que emplean tamaños de pantalla pequeños, se puede reducir el número de píxeles disminuyendo así la tasa de transmisión de datos. A este tipo de reducción se le denomina escalado espacial.

Existe otro tipo de escalado, el escalado temporal, que se emplea con ciertas aplicaciones que permiten reducir el número de cuadros o *frames* en aquellas imágenes que representan un movimiento limitado como, por ejemplo, los titulares de noticias. Algunos estándares de vídeo en *streaming* pueden reducir la tasa de *frames* (cuadros) de 25 y 30 fps a 15 fps e incluso menos.

2.1.5.2. La compresión

La compresión de vídeo es un proceso complejo que emplea técnicas para reducir la tasa de transmisión de datos de la señal de vídeo digital por factores de hasta 100 mientras mantiene la calidad que requieren las aplicaciones. La compresión de vídeo está basada en técnicas previas de compresión de imágenes como JPEG. Como cada cuadro representa básicamente lo mismo que el que le precede (salvo en las áreas en las que hay movimiento), se aplican técnicas de predicción e interpolación junto con la

compresión de la imagen misma para lograr reducir la tasa de transmisión de datos.

Todas las técnicas de compresión se aprovechan de la redundancia de datos presentes en la señal de vídeo para reducir la tasa de transmisión de datos y facilitar su empleo en los distintos estándares de televisión digital, televisión en movilidad, televisión por Internet, y todo tipo de redes. La compresión de vídeo se puede realizar con o sin pérdidas. En el caso de la compresión con pérdidas, la imagen original no puede ser restaurada de nuevo a resolución completa una vez comprimida.

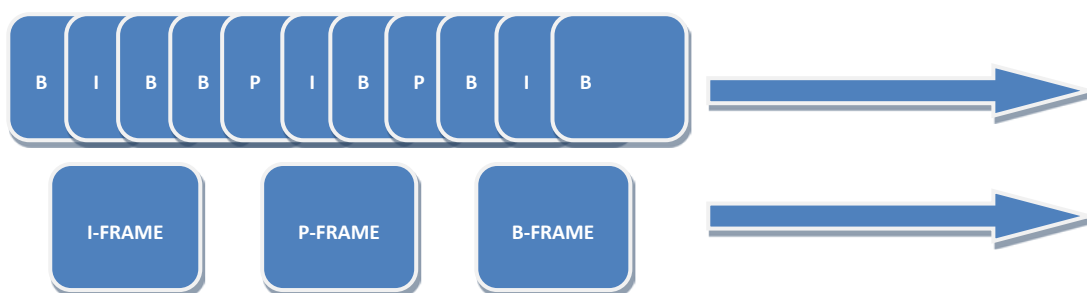
En vídeo digital existen dos tipos de redundancia de datos: la redundancia espacial y la redundancia temporal.

En una imagen normal existen áreas en las que los píxeles representan el mismo objeto, por ejemplo, el cielo o las nubes de un paisaje. En esos casos, la variación entre un píxel y su contiguo es mínima, y en lugar de describir cada píxel con todos sus bits de información de luminancia y color, estos se pueden codificar empleando información estadística de redundancia espacial. Existen códigos como RLE (*Run-Length Encoding*) que permiten que secuencias de datos con el mismo valor consecutivas sean almacenadas como un único valor más su recuento. Esto resulta especialmente útil en secuencias que contienen, por ejemplo, gráficos sencillos con áreas de color plano como iconos y logotipos. A este tipo de compresión se le llama compresión espacial o *interframe*.

Cuando la imagen está en movimiento, cada cuadro incluye píxeles que cambian con respecto al cuadro anterior como consecuencia del movimiento, pero eso no ocurre para todos los píxeles del cuadro ya que la mayoría contendrán la misma información que el cuadro anterior. Con una frecuencia de *frames* (cuadros) por segundo de 25 en PAL y de 30 en NTSC, el representar de nuevo toda la información de un *frame* como si no tuviese relación con el anterior resulta poco operativo. En realidad, sólo la información diferente entre un *frame* y otro debería ser transmitida, e incluso se podrían predecir las variaciones entre un *frame* y otro basándonos en el movimiento de la imagen. Según la nomenclatura empleada por el estándar de compresión MPEG-2, cada *frame* que transporta la información completa se llama *I-frame*, y los que utilizan vectores de movimiento para predecir la variación y transportar sólo esa información se llaman *P-*

frames. Existe otro tipo de *frame*, llamado *B-frame*, que es previsto en base a los *frames* I y P, además de emplear como referencia los *frames* anteriores y posteriores. La compresión temporal o *interframe* es posible gracias a las grandes cantidades de datos comunes que existen entre *frames* consecutivos, y que son transportados en base a vectores de movimiento en lugar de tener que representar la información del *frame* al completo.

Figura 14. Esquema de la compresión temporal en MPEG-2.



Existen algoritmos de compresión avanzados como MPEG-4 que, además de emplear las técnicas anteriormente mencionadas, se aprovechan de otras características de la visión humana como la llamada redundancia perceptual, que explica que la retina y el córtex visual pueden percibir con mucho más detalle los bordes de los objetos que sutiles variaciones en el color, y de las que se aprovecha con técnicas de codificación basadas en el contorno de las imágenes.

En una imagen no todos los parámetros ocurren con la misma probabilidad, lo que se puede aprovechar para codificar los parámetros más frecuentes con menos bits y los más improbables con más bits. Esta técnica, llamada Codificación Huffman, permite transportar más píxeles con menos bits, lo que reduce la tasa de transmisión de datos, y es empleada por algunos algoritmos de compresión avanzados.

Otro parámetro a tener en cuenta durante la compresión es el número de píxeles que es necesario transportar, ya que cada píxel se puede codificar con hasta 32 bits. Por ejemplo, el vídeo en definición estándar en NTSC emplea $720 \times 480 = 345\,600$ píxeles en MPEG-1 o VCD. El vídeo en SIF usa una resolución de solo $352 \times 288 = 101\,376$ píxeles, un tercio menos. Una videollamada debería ser transmitida por una línea RDSI de 128 kbps, por lo que emplea un cuarto de la definición SIF con $176 \times 144 = 25\,344$ píxeles.

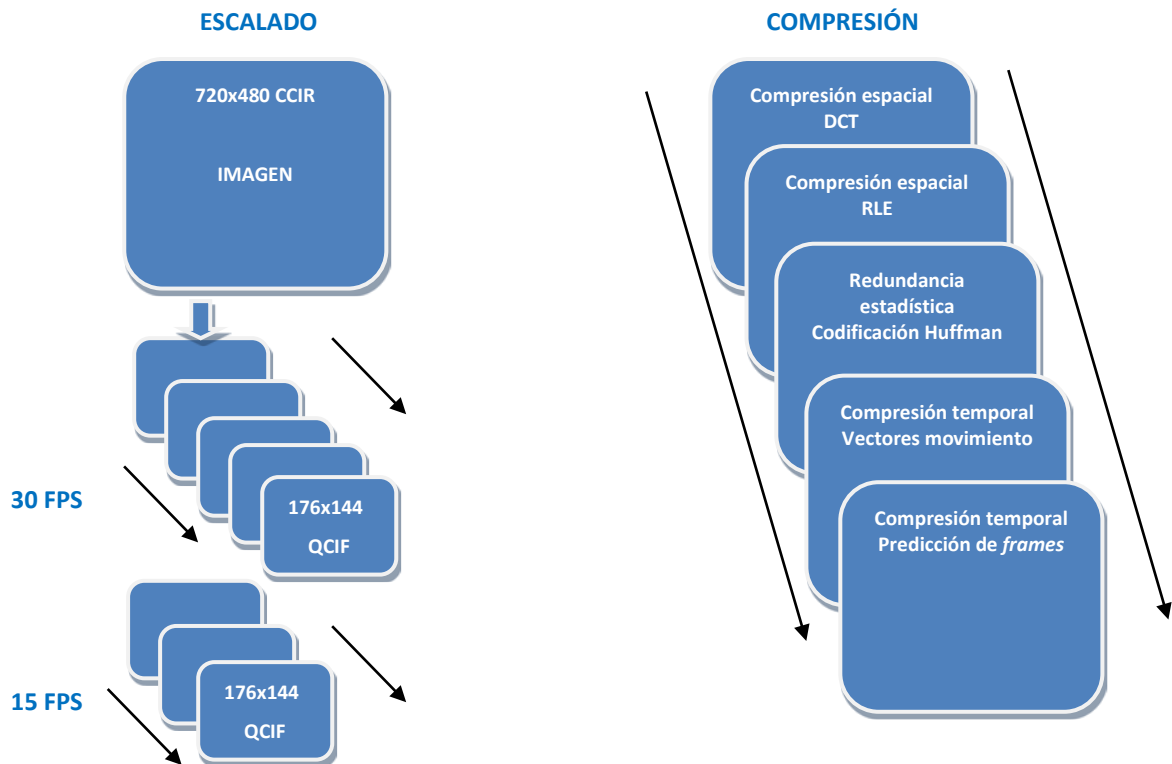
Este tipo de compresión, basado en reducir el número de píxeles transportados, se ha visto que se llama escalado.

Tabla 9. Tasas de transmisión de datos para dispositivos con pantallas pequeñas.

Formato	Resolución	Aplicación	Tasa de transmisión
MPEG-1	352x288 SIF	Video CD	0-1,5 Mbps
MPEG-2	720x480 CCIR	Difusión TV. DVD	1,5-15 Mbps
MPEG-4	176x144 QCIF 352x288 QSIF	Internet. Móvil TV	28,8-512 kbps
H.261	176x144 QCIF 352x288 QSIF	Videollamada	384 Kbps – 2 Mbps
H.263	128x96 720x480	Videollamada	28,8-768 kbps

Si se aplican todas las técnicas anteriormente mencionadas de escalado y compresión se obtendría, por ejemplo, un vídeo digital en definición estándar con $720 \times 480 = 345\,600$ píxeles por *frame* que, a 30 *frames* por segundo, hacen 10,37 megapíxeles por segundo. Para transmitir ese vídeo a un dispositivo móvil con la pantalla muy pequeña basta con una resolución QCIF de $176 \times 144 = 25\,344$ píxeles por *frame* y 15 *frames* por segundo, lo que requiere una tasa de transmisión de sólo 380 160 píxeles por segundo. Lo que se hace entonces es reducir el número de píxeles (escalar) de 10,37 megapíxeles a 0,38 megapíxeles, necesitando así muchos menos bits para transmitir la información. Los píxeles están ahora listos para ser sometidos al proceso de compresión, que comienza con la formación de bloques de 8×8 a los que se les aplica la Transformación Discreta de Coseno (DCT). A continuación, se les puede aplicar la técnica de vectores de detección de movimiento, la Codificación Huffman y algoritmos de compresión espacial como RLE (*Run-Length Encoding*), todo de acuerdo al protocolo de compresión que se utilice. Una vez finalizado el proceso, se pueden haber reducido los 9,12 Mbps ($0,38 \times 24$ bits por píxel) que se necesitaban para transportar los 0,38 megapíxeles previamente escalados a unos 64 kbps o menos.

Figura 15. Esquema de un ejemplo de compresión.



2.1.5.3. MPEG

MPEG (*Moving Picture Experts Group*) es un grupo de trabajo de expertos creado por la ISO (Organización Internacional de Normalización) y la IEC (International Electrotechnical Commission) para establecer estándares para el audio y la transmisión vídeo.

2.1.6. Estándares de compresión

Existen multitud de estándares de compresión que han ido evolucionando y ganando en complejidad a medida que las nuevas aplicaciones de audio y vídeo demandaban más prestaciones, aparecían nuevas tecnologías y la capacidad de procesar información de los microprocesadores aumentaba.

2.1.6.1. MPEG-1

MPEG-1 (ISO 11172) fue el primer estándar de codificación y compresión multimedia. Fue diseñado para soportar vídeo en discos compactos (CD), con una resolución de 352x288 y 25 fps en PAL y 352x240 y 30fps en NTSC. Empleaba escaneado progresivo y generaba tasas de transmisión de datos de hasta 1,5 Mbps. Basaba su técnica de

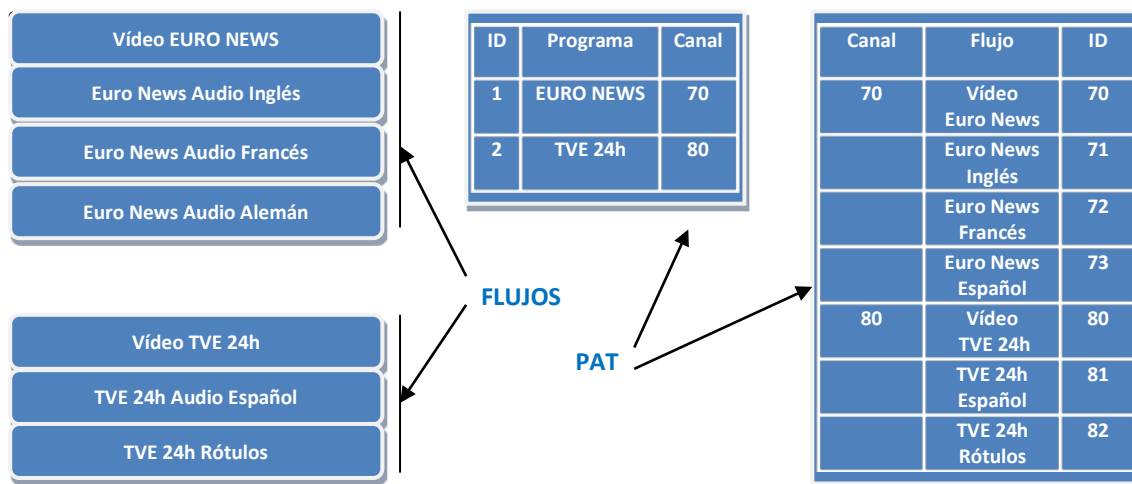
compresión en los procesos DCT (Transformación Discreta de Coseno) y RLE (*Run-Length Encoding*), además de un sistema de estimación de movimiento. MPEG-1 incluía dos canales de audio y una tercera capa con audio comprimido de alta calidad conocido hoy popularmente como «MP3». El formato MPEG-1 nunca ha sido utilizado para aplicaciones de vídeo en *streaming*.

2.1.6.2. MPEG-2

MPEG-2 (ISO 13818) es un estándar de compresión creado en 1994 que a día de hoy sigue siendo el más extendido para la radiodifusión de televisión y el almacenamiento de vídeo en soportes como el DVD. MPEG-2 fue diseñado para trabajar con vídeo y difusión de televisión en alta definición (HD). Puede generar tasas de transmisión de datos de entre 1,5 y 15 Mbps para definición estándar. MPEG-2 tiene muchos perfiles y la técnica de compresión que utilice dependerá del perfil elegido. Por ejemplo, para la transmisión de televisión en definición estándar (CCIR 601) se emplea el perfil MP@ML (*Main Profile at Main Level*) que puede generar tasas de transmisión de datos de hasta 15 Mbps. En cambio, para el procesado de vídeo en estudio profesional no se utilizan los *frames* B y P de la compresión temporal, siendo todos I para permitir la edición de vídeo *frame a frame*, lo que genera flujos de vídeo de hasta 50 Mbps.

MPEG-2 también posee una estructura única de transporte de flujos de datos que puede llevar múltiples canales de vídeo, audio y datos, que son identificados por IDs y pueden ser agrupados juntos mediante *Program Association Tables* (PAT).

Figura 16. Esquema de un flujo de transporte MPEG-2.



MPEG-2 también es compatible hacia atrás con MPEG-1 y puede ser transportado de múltiples formas, incluyendo en *streaming* y ATM (*Asynchronous Transmission Mode Adaptation Layer*). MPEG-2 es el sistema de codificación y compresión más extendido del mundo. El proceso de digitalización y transición de la televisión analógica a la digital ha estado basado en el MPEG-2, que es, a su vez, la tecnología empleada por estándares para la televisión digital en movilidad como DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*) y ATSC M/H (*Advanced Television Systems Committee Mobile/Handheld*).

2.1.6.3. MPEG-4

MPEG-4 emplea técnicas más avanzadas que MPEG-1 y MPEG-2 para lograr la compresión de vídeo. En lugar de trazar la imagen mediante píxeles y bloques, MPEG-4 separa los objetos en primer término del fondo, discriminado mediante el análisis de la imagen entre el movimiento y la parte estática que queda detrás. El fondo y los objetos en movimiento son comprimidos por separado, y luego enviados en el mismo flujo de datos para que el decodificador reconstruya la imagen combinando ambos.

Los algoritmos de MPEG-4 fueron diseñados para proporcionar compresiones con tasas de datos menores que las de MPEG-2, y poder ser destinados a aplicaciones de vídeo en *streaming*. Existen numerosos perfiles de MPEG-4 según las capacidades de transmisión de datos y las necesidades de resolución de las aplicaciones.

Tabla 10. Perfiles MPEG-4 para dispositivos móviles.

Perfil	Nivel	Vídeo	Resolución	Tasa de datos	Nº de objetos
<i>Simple profile</i>	L1	QCIF	176x144	64 kbps	4
	L2	QCIF	352x288	128 kbps	4
	L3	QCIF	352x288	384 kbps	4
<i>Core profile</i>	L3	QCIF	176x144	384 kbps	4
	L2	CIF	352x288	2 Mbps	16
<i>Main profile</i>	L2	CIF	352x288	2 Mbps	16
	L3	ITU 601	720x480	15 Mbps	32
	L4	HD	1920x1080	38,4 Mbps	32

El «*simple profile*» de MPEG-4 fue elegido como estándar para la transmisión de audio y vídeo en redes móviles por el proyecto 3GPP *release 5*. MPEG-4 ha sido completado con el *Advanced Simple Profile* (ASP) que proporciona capacidad de vídeo entrelazado, para poder emplear codificación basada en los *frames* B, y compensación de movimiento.

Los estándares actuales de MPEG-4 también incluyen vídeo escalable (*Scalable Video Coding* o SVC) mediante la técnica de capas de realce. El primer nivel de codificación corresponde a la capa base que aplica la calidad de imagen del MPEG-4 ASP. La primera capa de realce aplica una mejor calidad a la imagen aumentando el número de bits por *frame* mediante la técnica FGS (*Fine-Grain Scalability*). La segunda capa de realce mejora la tasa de *frames* mediante técnicas de escalado temporal o FGTS (*Fine-Grain Temporal Scalability*).

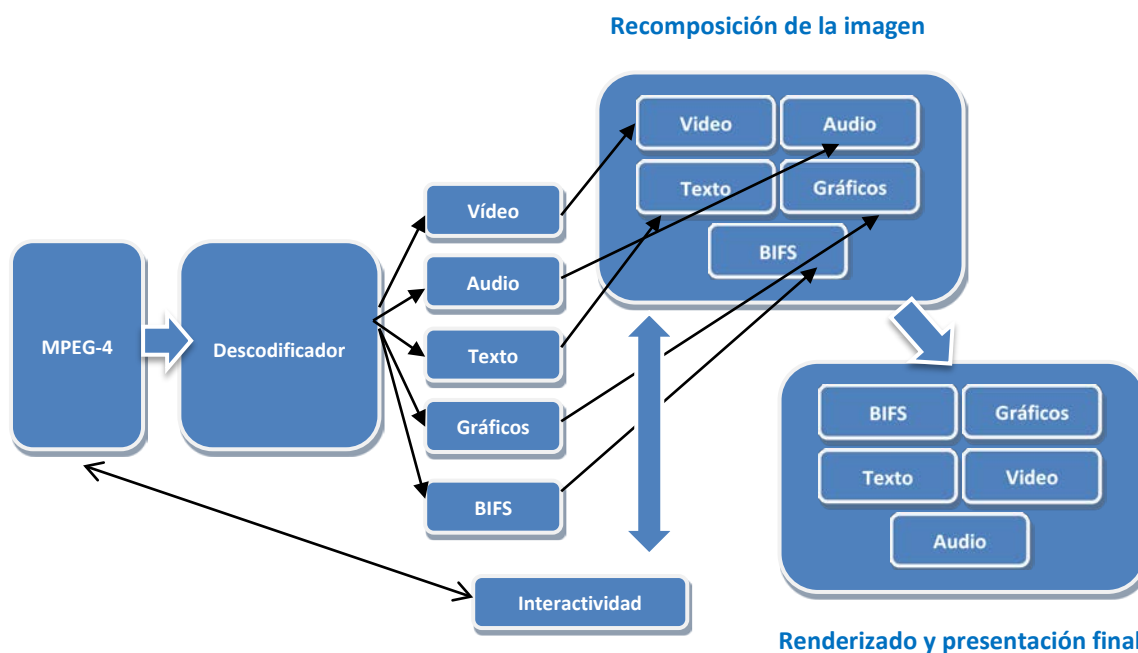
El estándar MPEG-4 define los objetos separados del fondo, lo que permite también la posibilidad de definir objetos en tres dimensiones (3D), lo que convierte a MPEG-4 en el estándar ideal para gestionar vídeo con aplicaciones Rich Media o videojuegos.

2.1.7. Multimedia e interactividad con MPEG-4

La alta eficiencia en la compresión de audio y vídeo no es la única cualidad de MPEG-4 que lo convierte en el estándar más empleado para aplicaciones de vídeo en *streaming* y televisión digital en movilidad. MPEG-4 es un estándar especialmente diseñado para la multimedia y la interactividad. Su principal característica es que basa su codificación en

el análisis de los objetos, por lo que puede tratar por separado el vídeo, el audio, los gráficos y los textos. También permite la incorporación de nuevos objetos a la imagen en la decodificación. Por último, al estar basado en objetos en lugar de *frames*, su capacidad de adaptación a diferentes tasas de transmisión de datos es mayor. En el caso de cambio de escenas, MPEG-4 no se ve obligado a transmitir un número determinado de *frames* por segundo con la misma codificación para los mismos objetos. Todas estas características hacen de MPEG-4 el estándar de compresión ideal para entornos en movilidad, donde el usuario puede desplazarse entre estaciones de transmisión forzando mucho la variación de tasas de transmisión de datos. Además, MPEG-4 también emplea una técnica de codificación por escenas llamada BIFS (*Binary Format for Scenes*) que permite recrear una imagen basándose en instrucciones. Esto implica que los objetos de una imagen pueden ser reordenados u omitidos, recomponiendo virtualmente una imagen con objetos, gráficos y texto generado. Cuando se aplican estas técnicas basándose en instrucciones del usuario o DCC (*Directed Channel Change*), se pueden crear aplicaciones interactivas gracias a la flexibilidad en la ubicación de los objetos. La información proporcionada por BIFS determina la fuente de los flujos de datos de la imagen final, y estos no tienen por qué coincidir con los de la fuente original.

Figura 17. Esquema de decodificación MPEG-4 basada en objetos.



El formato de compresión MPEG-4 tiene, a día de hoy, 31 versiones que definen las

distintas atribuciones del estándar como el transporte de datos sobre redes IP o la integración en distintos entornos multimedia. Una de las versiones más conocidas y empleadas es la versión 10 (MPEG-4, *part 10, Advanced Video Coding*), que se emplea para el transporte de señales de vídeo y que ha sido estandarizada con la denominación H.264/AVC.

2.1.8. Aplicaciones de MPEG-4

El uso de MPEG-4 alcanza todo tipo de aplicaciones, desde vídeo en páginas web a televisión digital; y proporciona una estructura en la que sus archivos, denominados .mp4, pueden contener vídeo, audio, presentaciones, imágenes o cualquier otra información. Los archivos .mp4 pueden o no contener audio, pero los archivos MPEG-4 que contienen sólo audio se denominan .aac.

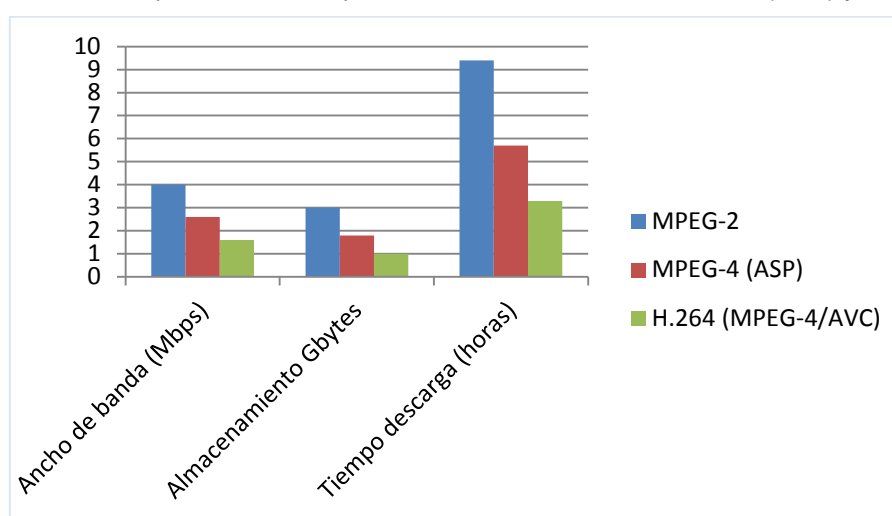
2.1.9. H.264/AVC (MPEG-4 part 10)

El estándar de codificación H.264 fue desarrollado por el Moving Picture Expert Group (MPEG) y el Video Coding Expert Group (VPEG) en el año 2003. Enseguida fue adoptado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), así como por la ISO (Organización Internacional de Normalización) y la IEC (International Electrotechnical Commission) como el estándar MPEG-4 *part 10* (ISO 14496-10). El estándar H.264 tiene por objetivos mejorar la eficiencia de la codificación de vídeo así como conseguir una mejor adaptación para su uso en redes. H.264/AVC representa un gran avance frente a los estándares previos de MPEG-4, sobre todo en lo concerniente a las tasas de transmisión de datos. Conceptualmente, el algoritmo H.264/AVC está dividido en dos capas: una primera capa de codificación de vídeo VCL (*Video Coding Layer*) que se ocupa de representar eficazmente el contenido de vídeo, y una capa de adaptación a la red NAL (*Network Adaptación Layer*) que sirve para adaptar el formato de datos de vídeo al soporte de transmisión. Esta capacidad de adaptarse a las redes y obtener tasas de transmisión de datos bajas hacen de H.264/AVC el estándar ideal para ser utilizado en redes multimedia sin cables, CDMA, 3G y cualquier otro tipo de red de transporte multimedia basada en IP.

En el entorno de los dispositivos móviles, el proyecto 3GPP en su *release 6* adoptó el H.264 como el estándar de codificación de vídeo para difusión en redes sin cables y en

movilidad. El 3GPP *release 5* se había limitado a adoptar el uso del MPEG-4 *Simple Profile*. H.264 consigue tasas de transmisión de datos la mitad de grandes que las que genera MPEG-2. Todo esto, unido a una mayor capacidad de adaptación a la red de distribución, y al uso de protocolos TCP/IP y UDP, ha hecho que H.264 se convierta en el estándar principal para su uso en redes DSL/ADSL y en la televisión por IP, y que se empiece a contemplar como una alternativa para la radiodifusión de televisión digital convencional frente al omnipresente MPEG-2.

Gráfico 1. Comparación de las prestaciones de MPEG-2, MPEG-4 (ASP) y H.264.



MPEG-4 puede transportar contenidos en HD con una tasa de transmisión de datos de 7-8 Mbps en comparación con los 15-20 Mbps que emplea MPEG-2. H.264 ha sido aprobado como estándar para el formato Blue-Ray. También ha sido adoptado por Apple y su reproductor multimedia QuickTime como *códec* de vídeo a partir de su versión 7 y superiores.

El proceso de codificación y compresión en H.264 comienza dividiendo la imagen en bloques. La primera imagen del vídeo es codificada como un *I-frame* (*Intra-frame*) sin contar con ninguna técnica de predicción, mientras que el resto de imágenes de la secuencia emplearán estimación y predicción de movimiento. La información de movimiento dentro del bloque que difiere de la del *frame* de referencia se llama desplazamiento espacial (*spatial displacement*) y es transmitida aparte y usada por el decodificador para construir el llamado *inter-frame* o *predicted frame*. La llamada información residual, que es la diferencia entre el intra y los inter bloques, es

transformada, escalada y cuantificada. Los coeficientes cuantificados transformados son sometidos entonces a un proceso de codificación entrópica que permita la predicción de los inter e intra *frames*. El codificador también escala a la inversa los coeficientes transformados para generar información residual de codificación, que se suma a la información original de predicción dando lugar a un filtro antibloques que mejora la eficacia de compresión y la calidad visual de las secuencias de vídeo eliminando efectos indeseables de la codificación como, por ejemplo, el efecto de bloques, y que permite generar vídeo decodificado.

Figura 18. Esquema de la codificación H.264/AVC.

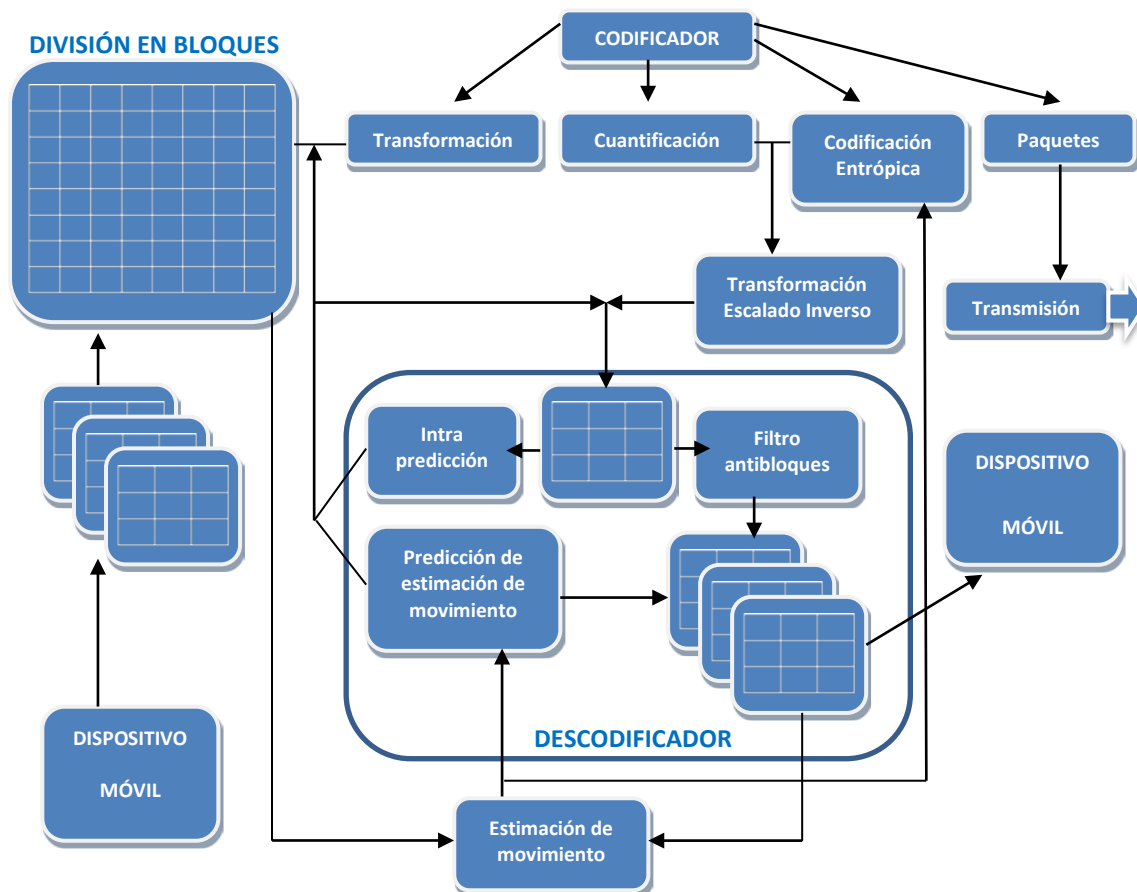


Tabla 11. Perfiles H.264/AVC.

Nivel 1	15 Hz QCIF a 64 kbps
Nivel 1b	15 Hz QCIF a 192 kbps
Nivel 1.1	30 Hz QCIF a 192 kbps
Nivel 1.2	15 Hz CIF a 384 kbps
Nivel 1.3	30 Hz QCIF a 768 kbps
Nivel 2	30 Hz QCIF a 2 Mbps
Nivel 2.1	25 Hz 625HHR a 4 Mbps
Nivel 2.2	12,55 Hz 625SD a 4 Mbps
Nivel 3	25 Hz 625SD a 10 Mbps
Nivel 3.1	30 Hz 720p a 14 Mbps
Nivel 3.2	60 Hz 720p a 20 Mbps
Nivel 4	30 Hz 1080 a 20 Mbps
Nivel 4.1	30 Hz 1080 a 50 Mbps
Nivel 4.2	60 Hz 1080 a 50 Mbps
Nivel 5	30 Hz 16VGA a 135 Mbps
Nivel 5.1	30 Hz 4Kx2K a 240 Mbps

La difusión de televisión se caracteriza por el empleo de vídeo entrelazado para reducir el ancho de banda, así como por el uso de resoluciones, tasas de *frames* e información de color específicas. En el mundo analógico, estas características están manifestadas en los formatos PAL, NTSC y SECAM, y sus variaciones. En el mundo digital, los términos PAL o NTSC no son aplicables, ya que indican el modo en que la información de color es tratada mediante subportadoras. Sin embargo, la televisión digital mantiene características de la señal de televisión analógica como la tasa de *frames* por segundo y el número de píxeles por *frame*. La señal PAL se caracteriza por una resolución de 720x576 y 25 fps, mientras que la señal NTSC tiene 720x480 a 30 fps. Las señales de televisión, incluso después de ser digitalizadas y comprimidas, retienen sus características específicas y pueden ser empleadas en entornos de compatibilidad. De este modo, la televisión mantiene su identidad distintiva frente al vídeo digital que es de uso común en el mundo de Internet. Se hace esta diferenciación porque es importante distinguir entre televisión y vídeo, entendiendo por vídeo a aquél que es difundido por Internet o que está destinado a su representación en monitores de ordenador como los CRTs o LCDs que utilizan exploración progresiva en lugar de entrelazada. Los formatos

de vídeo para Internet son estandarizados por la IEFT (Internet Engineering Task Force), que es lo que permite que una secuencia de vídeo en *streaming* pueda ser abierta en cualquier web del mundo sin tener que tener en cuenta los estándares y formatos locales.

2.1.10. AVS (China)

AVS (*Audio Video Standard*) es un tipo de *códec* de compresión para audio y vídeo digital que compite directamente con el H.264/AAC para reemplazar la norma MPEG-2. El desarrollo de AVS fue iniciado por el gobierno chino con la idea de que este estándar permitiría a China no sólo reducir el pago de regalías por el uso de licencias a compañías extranjeras, sino que potenciaría a nivel internacional la electrónica china, permitiendo que sus productos lleguen a un mercado de masas. Las compañías chinas poseen el 90% de las patentes del sistema AVS.

El estándar AVS tiene 10 partes, siendo la parte 7 la que especifica las características para dispositivos móviles y se llama AVS-M. La arquitectura del *códec* AVS-M es muy similar a la del estándar H.264, empleando sólo escaneado progresivo con una configuración 4:2:0 para los componentes de color. No existe el concepto de campo (*field*) y cada imagen se corresponde con un *frame*. El sistema especifica sólo dos tipos de imagen: los *I-frames*, que son el resultado de una codificación completa del *frame*, y los *P-frames*, que son previstos en base a un máximo de dos *frames* de referencia.

Durante la codificación, la imagen se divide en macrobloques. Se denomina porción (*slice*) a una secuencia de macrobloques en una exploración de trama (*raster scan*), que es un patrón rectangular de captura de imágenes y reconstrucción. Las porciones nunca se superponen. Un macrobloque se divide en 6 bloques de 8x8 (4: luminancia, 2: crominancia), aunque también se puede dividir en 24 bloques de 4x4 (16: luminancia, 8: crominancia). También emplea codificación VLC (*Variable-Length Code*) y filtro antibloques de manera similar a H.264. Los macrobloques de 4x4 son tratados mediante ICT (Transformación Inversa de Coseno). Para aumentar la velocidad de procesamiento en el codificador, AVS-M emplea una técnica llamada PIT (*Prescaled Integer Transform*) que precalcula los resultados de escalado y los envía al codificador.

Los *frames* previstos o *P-frames* pueden estar separados del *frame* de referencia para

una mayor resistencia al error. También es posible marcar *frames* para que no sean empleados como *frames* de referencia en la predicción. Esto hace posible el descartar esos *frames* si se va a llevar a cabo un escalado temporal, por lo que no se produce el efecto cascada en la calidad del vídeo al eliminar *frames*.

Igual que con el H.264, se han definido varios perfiles para estandarizar el AVS-M.

Tabla 12. Perfiles AVS-M.

Nivel	Tamaño de pantalla	Tasa de transmisión de datos	Tasa de <i>frames</i>
1	SQCIF (128x96) o QCIF (176x144)	64 kbps	30 fps SQCIF, 15 fps CIF
1.1	SQCIF (128x96) o QCIF (176x144)	128 kbps	30 fps SQCIF, 15 fps CIF
1.2	CIF (352x288)	384 kbps	15 fps
1.3	CIF (352x288)	768 kbps	30 fps
2	CIF (352x288)	2 Mbps	30 fps
2.1	352x480 o 352x576	4 Mbps	30 fps o 25 fps
2.2	352x480 o 352x576	4 Mbps	30 fps o 25 fps
3	VGA (640x480)	6 Mbps	30 fps
3.1	D1 (720x480 o 720x576)	8 Mbps	30 fps o 25 fps

2.1.11. Archivos de vídeo

Por lo general, el vídeo no se transmite inmediatamente después de la compresión. Es necesario almacenarlo y, para hacerlo, la industria multimedia emplea multitud de formatos de archivo diferentes. Muchos de ellos tienen su origen en los distintos sistemas operativos existentes y en la manera en que se muestrean y almacenan los archivos en los ordenadores. Otros formatos están basados en los distintos estándares de compresión. También existe la necesidad de convertir los archivos de unos formatos a otros, para lo que se puede encontrar una gran cantidad de *software* disponible.

2.1.11.1. Windows AVI .avi

AVI (*Audio Video Interleave*) es un formato contenedor de audio y vídeo lanzado por Microsoft en 1992. El formato AVI permite almacenar simultáneamente un flujo de datos de vídeo y varios flujos de audio. El formato concreto de estos flujos es interpretado por un programa externo denominado *códec*, es decir, el audio y el vídeo contenidos en AVI pueden estar en cualquier formato (AC3/DivX o MP3/Xvid, entre otros), por esto se le considera un formato contenedor.

Para que todos los flujos puedan ser reproducidos simultáneamente, es necesario que se almacenen de manera intercalada (*interleave*). De esta manera, cada fragmento de archivo tiene suficiente información como para reproducir unos pocos fotogramas junto con el sonido correspondiente.

El formato AVI admite varios flujos de datos de audio, lo que en la práctica significa que puede contener, por ejemplo, varias bandas sonoras en varios idiomas. Es el reproductor multimedia quien decide cuál de estos flujos debe ser reproducido, siempre según las preferencias del usuario.

Los archivos AVI se dividen en fragmentos bien diferenciados denominados *chunks*. Cada *chunk* tiene asociado un identificador denominado «etiqueta FourCC». El primer fragmento se denomina cabecera, y su papel es aportar metainformación respecto al archivo, por ejemplo, las dimensiones de la imagen y la velocidad en *frames* por segundo. El segundo *chunk* contiene los flujos entrelazados de audio y vídeo. De modo opcional, puede existir un tercer *chunk* que actúa a modo de índice para el resto de *chunks*.

El formato AVI apenas tiene compresión, por lo que es empleado más para almacenamiento y no para ser transmitido en red. AVI es el formato más extendido entre ordenadores que usen el sistema operativo Windows de Microsoft.

2.1.11.2. Windows Media .wmv

WMV (Windows Media Video) es un nombre genérico que se da a un conjunto de algoritmos de compresión de vídeo desarrollados por Microsoft. WMV no se basa sólo en tecnología de Microsoft, desde la versión 7 (WMV1) Microsoft ha utilizado su propia versión no estandarizada de MPEG-4. Además, el vídeo a menudo se combina con sonido en un formato llamado Windows Media Audio.

El vídeo WMV se empaqueta normalmente en algún contenedor multimedia como pueden ser AVI o ASF²² (*Advanced Streaming Format*). Los ficheros resultantes reciben la extensión *.avi* si el contenedor es de este tipo, *.wmv* si es un fichero de sólo vídeo (*.wma* sería el equivalente para sonido) o *.asf* si se trata de un contenedor ASF

²² *Advanced Streaming Format* (ASF, posteriormente renombrado a *Advanced Systems Format*) es un formato contenedor digital propiedad de Microsoft diseñado especialmente para el *streaming*.

con contenido de audio y vídeo. El formato WMV también incluye capacidad de servicio DRM (*Digital Rights Management*).

El formato WMV es reproducido por una amplia gama de reproductores como MPlayer o Windows Media Player. En el caso de reproductores ajenos a Microsoft, como por ejemplo MPlayer, es frecuente utilizar una implementación alternativa de los formatos. El formato WMV está muy extendido entre ordenadores que emplean el sistema operativo Windows, pero también puede ser empleado por otros sistemas (como Mac) si se les dota del *software* apropiado.

2.1.11.3. MPEG .mpg

MPEG denota los archivos de audio y vídeo comprimidos por los formatos MPEG-1 y MPEG-2.

MPEG-1 se diseñó para codificar imágenes en movimiento y su audio asociado para medios de almacenamiento digital con una tasa de transmisión de datos de alrededor de 1,5 Mbps, aunque es capaz de tasas de bits mucho más altas. Se utiliza en Video-CD, SVCD y puede ser utilizado para vídeo de baja calidad en DVD. Fue utilizado en los servicios digitales de televisión por satélite y cable antes de la aparición del MPEG-2.

MPEG-2 se diseñó para la codificación genérica de imágenes en movimiento y audio asociado, así como el transporte de audio y vídeo para su transmisión con calidad de televisión. MPEG-2 ha sido elegido como formato de compresión para implementar la televisión digital por los estándares ATSC, DVB e ISDB.

Al ser un estándar internacional, tanto Windows como Mac emplean el formato MPEG.

2.1.11.4. QuickTime .mov

QuickTime es un formato multimedia desarrollado por Apple. Existe una versión Pro que añade diversas funcionalidades como la edición de vídeo y la codificación a varios formatos como AVI, MOV y MP4.

QuickTime no es sólo un reproductor, sino que es un sistema multimedia completo capaz de reproducir y transmitir contenidos de alta calidad en Internet. Apple ha decidido incorporar a QuickTime las nuevas tecnologías MPEG-4 de vídeo de alta

definición y, además, QuickTime es completamente compatible con el estándar H.264/AVC a partir de su versión 7.

QuickTime, gracias a su gran compatibilidad, está disponible para la mayoría de sistemas operativos como Windows y Mac OS. Los sistemas GNU/Linux también pueden usar QuickTime mediante programas como MPlayer.

2.1.11.5. RealMedia .rm

RealMedia hace referencia a los formatos de archivo creados por la empresa estadounidense RealNetworks, y especialmente al formato de audio RealAudio y al de vídeo RealVideo. RealMedia se utiliza sobre todo como formato para visualizar vídeo y audio de calidad.

Los formatos RealMedia están muy extendidos entre los sitios de Internet que ofrecen audio y vídeo en *streaming*. RealMedia permite crear flujos de datos por medio de los protocolos RTSP, RTP, PNM, HTTP y UDP²³ de diferentes versiones del mismo contenido para que el usuario pueda elegir cuál visualizar según la calidad de su conexión a Internet (LAN, DSL o RDSI).

Los archivos RealMedia emplean la extensión .ra para audio; .rv, .rm y .rmvb para vídeo; y .ram y .rpm como metaformato.

RealMedia Producer, RealMedia Server y RealMedia Player se pueden descargar de manera gratuita en Internet, lo que ha contribuido a la gran popularidad del formato. Muchas páginas web albergan contenido en RealMedia, lo que obliga a cualquier dispositivo que quiera acceder a ellas a soportar el formato.

²³ RTSP (*Real Time Streaming Protocol*) establece y controla uno o muchos flujos sincronizados de datos, ya sean de audio o de vídeo. El RTSP actúa como un mando a distancia mediante la red para servidores multimedia. RTP (*Real-time Transport Protocol*) es un protocolo de nivel de sesión utilizado para la transmisión de información en tiempo real, como por ejemplo audio y vídeo en una videoconferencia. PNM (*People Near Me*) es la versión antigua de RTSP. HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) es el protocolo usado en cada transacción de la World Wide Web. UDP (*User Datagram Protocol*) es un protocolo del nivel de transporte basado en el intercambio de datagramas. Permite el envío de datagramas a través de la red sin que se haya establecido previamente una conexión ya que el propio datagrama incorpora suficiente información de direccionamiento en su cabecera.

2.1.11.6. Flash Video .flv

Flash Video (FLV) es un formato contenedor usado para transmitir vídeo por Internet a dispositivos que usen Adobe Flash Player. Fue creado por la empresa Macromedia, posteriormente adquirida por Adobe Systems. Los contenidos FLV pueden ser incrustados dentro de archivos SWF²⁴ (*Small Web Format*). Entre los sitios más notables que utilizan el formato FLV se encuentran: YouTube, Google Video, Reuters.com, Yahoo! Video y MySpace.

La mayoría de sistemas operativos soportan Flash Video mediante Adobe Flash Player, un *plug-in* disponible gratuitamente en la web, o de otros programas como MPlayer, VLC Media Player o cualquier reproductor que soporte DirectShow (tales como Media Player Classic, Windows Media Player, y Windows Media Center).

Originalmente, Flash Video fue creado empleando una variante del estándar H.263 que se llamaba Sorenson Spark y que era un *códec* propietario. Sin embargo, Flash Video soporta a partir de su versión 10 el estándar H.264 de vídeo y los estándares MP3 y AAC de audio, lo que le convierte en un formato abierto.

2.1.11.7. DivX

DivX es un formato reproductor multimedia basado en los *códecs* DivX que creó la empresa estadounidense DivX. Inc., y que tiene la capacidad de comprimir vídeos de larga duración en archivos de tamaño manejable. Estos archivos pueden ser reproducidos con el DivX Player, mediante la adquisición de un *plug-in* con el *códec* o con otros reproductores como Windows Media Player. Los archivos DivX se identifican por la extensión .divx y consisten en un contenedor con múltiples flujos de vídeo, pistas de audio, subtítulo (en un formato específico llamado XSUB) y menús interactivos, entre otros servicios.

A pesar de que el *códec* original de DivX se basaba en la tecnología MPEG-4 para el vídeo y AAC para el audio, DivX tiene múltiples perfiles que abarcan múltiples resoluciones y tamaños de pantalla, desde dispositivos móviles a sistemas de alta definición.

²⁴ SWF (inicialmente abreviación de *Shockwave Flash* y posteriormente de *Small Web Format*) es un formato de archivo de gráficos vectoriales creado por la empresa Macromedia (actualmente Adobe Systems).

La codificación DivX puede comprimir un DVD, con sus 4,7 GB de información, en un archivo de 700 MB, lo que lo convierte en un formato ideal para las descargas de vídeo por Internet.

Tabla 13. Perfiles DivX.

Perfil	Aplicación	Resolución	Tasa de transmisión
6.5 +	Alta definición	1920x1080 a 30 fps	4-20 Mbps
4 +	Alta definición	1280x720 a 30 fps	4-20 Mbps
3,11 +	Definición estándar	480x720 a 30 fps y 576x720 a 25 fps	4-8 Mbps
5 +	Dispositivos móviles	320x240 a 30 fps	0,6 Mbps

2.1.11.8. MKV

MKV (Matroska Multimedia Container Format) es un formato contenedor de estándar abierto desarrollado por la empresa rusa Matroska que puede contener una cantidad ilimitada de vídeo, audio, imagen o subtítulos dentro de un sólo archivo. Se diseñó con el objetivo de servir como formato universal para el almacenamiento de contenidos audiovisuales y multimedia, como películas o programas de televisión, videojuegos, imágenes y textos.

La denominación Matroska está inspirada en el concepto de muñeca rusa o *matrioska*, que son las muñecas tradicionales rusas huecas por dentro que en su interior albergan más muñecas. Matroska es un *software* libre de código abierto, es decir, no es un formato propietario y por lo tanto no paga derechos de autor ni está sometido a limitaciones por *copyright*. Por cada película o juego que sale a la venta compatible con el formato, sus responsables no deben pagar regalías al fabricante del *software*, lo que permite reducir el coste de los productos para que se puedan vender a un precio menor; además, el usuario puede crear sus propios archivos gratuitamente y de forma libre, lo que le convierte en un formato muy popular para compartir archivos multimedia.

Los archivos MKV se distinguen por la extensión .mkv para vídeo (con subtítulos y audio), .mka para audio, .mks para subtítulos y .mk3d para vídeo estereoscópico. El *software* de Matroska sirve para cualquier tipo de almacenamiento multimedia, como películas, animación 3D, videojuegos, imágenes, textos y libros interactivos, entre otros.

A pesar de ser una iniciativa de *software* libre, MKV no se limita a sistemas operativos de código abierto como Linux, sino que está pensado para poder ser usado en todos los sistemas operativos, tanto libres como propietarios, como Windows, Mac OS, Android o cualquier otro.

A partir del 2009, Divx ofrece soporte al formato MKV.

2.1.11.9. XVID

Xvid es el nombre de un *códec* de *software* libre desarrollado por programadores voluntarios de todo el mundo. Xvid está basado en el estándar MPEG-4 ASP. El formato fue creado como una alternativa libre a otros *códecs* comerciales de vídeo, y su calidad y eficiencia lo han convertido en uno de los *códecs* más extendidos a nivel mundial. La reproducción de películas Xvid está soportada hasta por los reproductores de DVD más modernos.

Xvid puede comprimir una película completa con una calidad cercana a la de la fuente original para que ocupe tan solo 700 MB. Las películas codificadas en Xvid ofrecen vídeo de alta calidad en archivos de tamaño reducido y, además, la compresión del vídeo lleva menos tiempo que en MPEG-2. El vídeo en Xvid suele ir acompañado de audio en MP3 o AC3.

Cuando se instala el *códec* de Xvid, se proporcionan al sistema las instrucciones y el soporte específico para comprimir y descomprimir vídeo en el formato Xvid usando el reproductor de Windows Media, cualquier otro reproductor habilitado para usar DirectShow o, en caso de sistemas operativos que no sean de la familia Microsoft Windows, mediante un reproductor preparado para usar dicho *códec* como, por ejemplo, el *software* de reproducción de vídeos multiplataforma VLC Media Player.

2.1.11.10. MXF

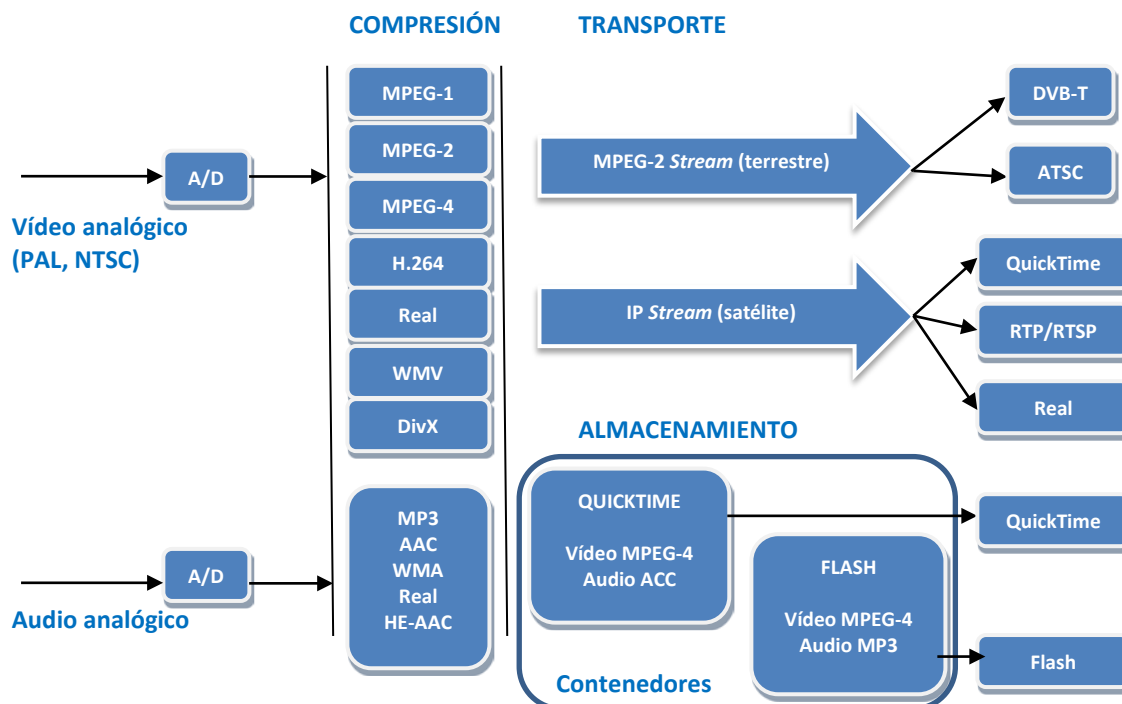
MXF (*Material Exchange Format*) es un formato contenedor de audio y vídeo para uso profesional definido dentro del conjunto de estándares de la SMPTE (Society of Motion Picture & Television Engineers). MXF es un formato abierto de fichero desarrollado para el intercambio de audio, vídeo y sus metadatos asociados entre distintas estaciones de trabajo con aplicaciones y equipos diversos o, incluso, tecnologías distintas. MXF

deriva del modelo de datos AAF (*Advanced Authoring Format*), y es un formato contenedor que facilita la interoperabilidad de contenidos entre distintas aplicaciones utilizadas en la cadena de producción de televisión ofreciendo una alta eficiencia operacional. El estándar MXF surge a causa de la escasa funcionalidad e interoperabilidad que se suele dar en el intercambio audiovisual entre servidores de archivos, plataformas de edición de trabajo y otros dispositivos de creación de contenidos en el entorno de la producción profesional. MXF ha sido desarrollado por las principales empresas y fabricantes de la industria televisiva y organizaciones como Pro-MPEG, la EBU (European Broadcasting Union) y la AMWA (Advanced Media Workflow Association).

2.1.12. Archivos contenedor

Existen muchos estándares para la compresión de vídeo y su almacenamiento en forma de archivo. Algunos de estos formatos son propietarios, como Windows Media o Real Video, y otros consisten en diferentes formatos de audio y vídeo comprimidos por alguno de los estándares abiertos, como MPEG-2, MPEG-4, AAC o MP3, entre otros. Un archivo contenedor es un tipo de formato de archivo que almacena información de vídeo, audio, metadatos e información de sincronización y corrección de errores siguiendo un formato preestablecido en su especificación técnica. Los archivos contenedor especifican el tipo de vídeo y audio que contienen, y los metadatos como el título, el autor y cualquier otra información complementaria. Los reproductores de vídeo normalmente soportan múltiples formatos de archivos, e incluso el vídeo digital puede ser transmitido en *streaming* vía IP y convertido en alguno de estos archivos posteriormente.

Figura 19. Esquema del funcionamiento de los archivos contenedor.



2.1.12.1. Conversores

Debido a la cantidad ingente de formatos de captura de vídeo, almacenamiento, edición y transmisión disponibles, cobra especial importancia la capacidad de conversión de los archivos a los distintos formatos. En la mayoría de los casos, el proceso consiste en transformar los datos del archivo contenedor, que suelen estar en algún formato abierto, en el tipo de archivo deseado, ya sea QuickTime, AVI o MXF, por citar algunos. Existen multitud de conversores en el mercado para gestionar los formatos de archivo más comunes.

2.1.13. Codificación de audio

Existen varias maneras de representar el audio dependiendo de si está comprimido o sin comprimir y del estándar empleado para la compresión. Muchos formatos de audio tienen un origen histórico en sistemas de telecomunicaciones o sistemas operativos informáticos. Los estándares de audio también dependen de la aplicación que se les quiera dar, por ejemplo, la música requiere audio de alta fidelidad (20Hz-20kHz), mientras que los teléfonos móviles emplean rangos de frecuencia menores (100Hz-4kHz) para transportar la voz.

2.1.13.1. Muestreo

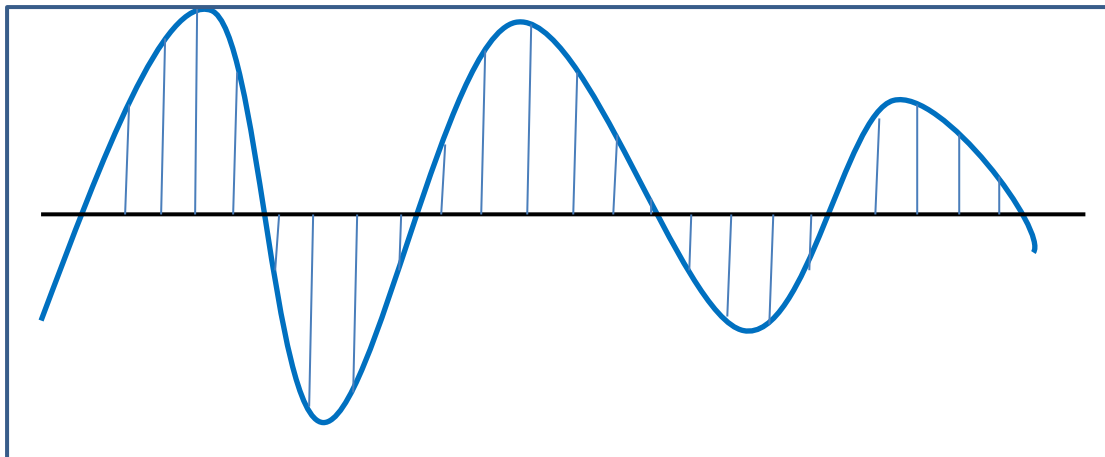
El rango de frecuencias que el oído humano puede captar, también llamado espectro audible, va de los 20 Hz a los 20 kHz. Para poder digitalizar el audio es necesario, según el Teorema de Nyquist, que la frecuencia de muestreo sea superior al doble de la máxima frecuencia a muestrear.

Tabla 14. Frecuencias de muestreo más comunes.

Audio CD	44,1 kHz y 16 bits por muestra
DAT (<i>Digital Audio Tape</i>)	48 kHz y 16 bits por muestra
DVD	48-192 kHz y 16-24 bits por muestra

El elevado número de bits necesario para codificar la señal de audio se debe al alto rango dinámico, de más de 90 dB, que se puede encontrar en el audio y a que, si no se hace así, se puede formar mucho ruido en el sistema con la consiguiente pérdida de fidelidad.

Figura 20. Representación del muestreo de una onda de audio.



El proceso de muestreo genera audio en formato PCM (*Pulse Code Modulated*), que es el formato más ampliamente utilizado en los estudios de audio digitales.

Desde la perspectiva de la televisión digital en movilidad, es importante distinguir entre música, audio en estéreo de alta calidad y voz (audio en un sólo canal con un ancho de banda de sólo 4 kHz).

Tabla 15. Tasas de muestreo de audio.

Fuente	Frecuencia	Muestreo
Telefonía Voz	200 Hz a 3,4 kHz	8 kHz
Voz en alta banda	100 Hz a 7 kHz	16 kHz
Música	50 Hz a 15 kHz	32 kHz
Música (CD)	20 Hz a 20 kHz	44,1 kHz
Música (Profesional)	20 Hz a 20 kHz	48 kHz

Debido a la naturaleza del oído humano a la hora de percibir el audio y al alto rango dinámico implicado, la codificación PCM es de naturaleza logarítmica. La ley A (*A-Law*) es un sistema de cuantificación logarítmica de señales de audio estandarizado por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) usado habitualmente con fines de compresión en aplicaciones de voz humana. Su funcionamiento se basa en que las señales de voz están formadas en gran parte por amplitudes pequeñas, ya que son las más importantes para la percepción del habla, por lo tanto éstas son muy probables y, en cambio, las amplitudes grandes no aparecen tanto. En el caso de que una señal de audio tuviera una probabilidad de aparición igual para todos los niveles de amplitud, la cuantificación ideal sería la uniforme, pero en el caso de la voz humana esto no ocurre, ya que estadísticamente aparecen con mucha más frecuencia niveles bajos de amplitud. El algoritmo Ley A explota el factor de que los altos niveles de amplitud no necesitan tanta resolución como los bajos. Por lo tanto, si se dan más niveles de cuantificación a las bajas amplitudes y menos a las altas, se conseguirá más resolución, un error de cuantificación inferior y por lo tanto una relación SNR²⁵ superior que si se efectuara directamente una cuantificación uniforme para todos los niveles de la señal.

Esto provoca que, si para una determinada SNR fijada se necesita, por ejemplo, 16 bits usando una cuantificación uniforme, para la misma SNR usando la codificación Ley A sólo se necesiten 8 bits, dado que el error de cuantificación es menor y se pueden usar menos bits para obtener la misma SNR.

Una vez el audio ha sido codificado, ya sea en PCM o empelando un codificador, se obtiene un flujo de bits al que hay que dar formato y dotar de una interfaz. La interfaz

²⁵ La relación señal/ruido (en inglés *Signal to Noise Ratio* SNR o S/N) se define como la proporción existente entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia del ruido que la corrompe. Este margen es medido en decibelios.

AES3, también conocida como AES/EBU (Audio Engineering Society/European Broadcasting Union), es una interfaz de comunicación estandarizada pensada para transmitir en tiempo real señales de audio digital sin compresión entre dispositivos. Se trata de una interfaz física que incluye un cable con un alcance de hasta 100 metros y un sistema de codificación llamado BPM (*Biphase Mask*) que permite recuperar la señal al extremo contrario del cable. AES3 puede transmitir audio comprimido o sin comprimir, pero se usa mayoritariamente para transportar audio en PCM. Las tasas de bits más comunes en AES3 son: 3,072 Mbps para 48 kHz, 2,822 Mbps para 44,1 kHz y 2,048 Mbps para 32 kHz.

2.1.14. Compresión de audio

En la mayoría de aplicaciones, el audio se transmite en rangos de 8-12 kbps para telefonía móvil o 144 kbps para música en estéreo, por lo que es necesario comprimir la señal.

La compresión de audio se basa en las características del oído humano, que no percibe todas las frecuencias por igual. Existen varias características del oído humano que se deben considerar:

- El oído humano no reconoce el sonido como estéreo por debajo de los 2 kHz, lo que permite emplear el audio mono para frecuencias por debajo de este límite.
- Cuando el volumen de sonido es bajo, el oído es más sensible a las frecuencias situadas en la banda media, y es relativamente insensible a las altas y bajas frecuencias.
- Un tono de alta frecuencia puede enmascarar las señales más bajas que se encuentran cerca, lo que permite descartar en el proceso de compresión las señales de baja frecuencia que se encuentren cerca de una de alta frecuencia.

Los codificadores de audio se sirven de los principios de la percepción auditiva humana para descartar los datos irrelevantes. La codificación en subbandas es una de las técnicas más comunes y consiste en dividir el espectro en subbandas diferenciando entre las bandas altas y las bandas bajas que serán enmascaradas por las altas.

2.1.14.1. MPEG

MPEG ha desarrollado, basándose en la psicoacústica, estándares de codificación que son ampliamente utilizados por la industria multimedia como MPEG-1.

El estándar de compresión MPEG-1 *layer 3* o MP3 es uno de los más populares en todo el mundo para la codificación de audio, y su uso está ampliamente extendido en Internet. MPEG-1 tiene tres capas: la primera (MPEG-1 *layer 1*) se usa en los casetes compactos digitales; la segunda capa (MPEG-1 *layer 2*) corresponde al formato MUSICAM, que emplea el sistema DAB (*Digital Audio Broadcasting*); y la tercera capa (MPEG-1 *layer 3*), más conocida como MP3, es uno de los estándares de audio más populares en Internet. Las frecuencias de muestreo para MPEG-1 son 32 kHz, 44,1 kHz y 48 kHz. MP3 también se emplea como formato de audio en los Video-CDs.

MPEG-2 ha sido el estándar de codificación para la difusión de televisión digital desde sus orígenes, y es uno de los estándares más extendidos del mundo. El estándar AAC (*Advanced Audio Coding*) fue incorporado por MPEG-2 *part 7* como una mejora de MP3. Se definieron tres perfiles para AAC: AAC-LC (*low complexity*), AAC-Main y AAC-SSR (*Scalable Sampling Rate profile*).

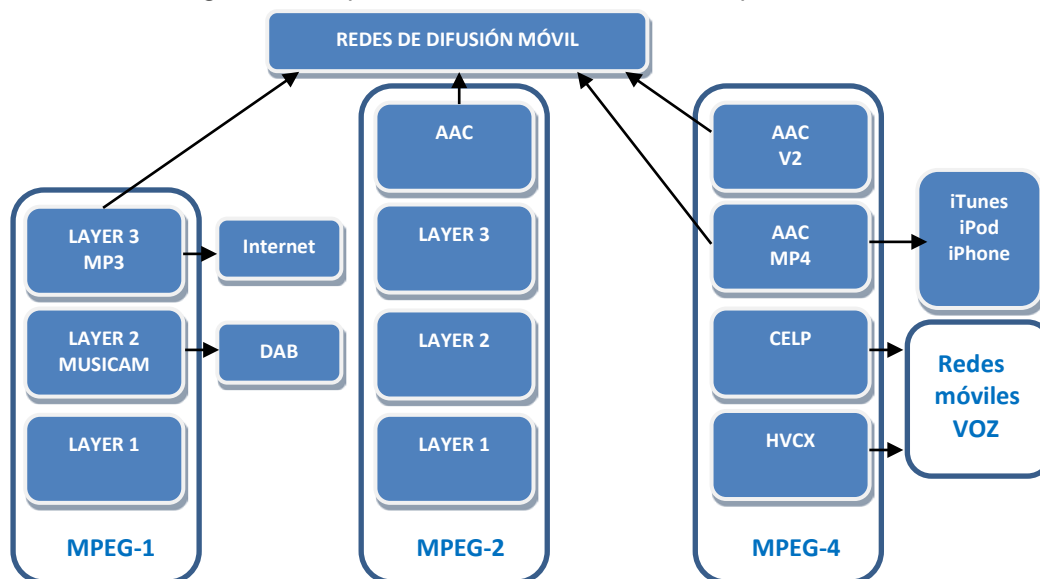
MPEG-4 comprende una serie de estándares de codificación de audio con distintas características que proporcionan algoritmos más complejos para una superior capacidad de compresión. MPEG-4 también genera audio en formato AAC totalmente compatible con la versión anterior MPEG-2 AAC. MPEG-4 AAC incorpora una tecnología llamada *Perceptual Noise Substitution* (PNS) que elimina de la codificación el ruido de fondo reduciendo así la cantidad de datos a comprimir. También emplea una técnica llamada *Joint Stereo Coding* (JSC) para eliminar la redundancia de datos entre el audio del canal izquierdo y derecho cuando estos son iguales. MPEG-4 elimina la redundancia entre *frames* de audio consecutivos mediante una herramienta llamada LTP (*Long-Term Predictor*), que elimina las señales armónicas estacionarias del código. Además, incluye tecnología *Multiple Bit Rate Coding* que favorece el transporte de la señal en entornos en *streaming* donde una tasa fija de transmisión de datos no está garantizada. El estándar AAC de MPEG-4 es muy popular debido a que ha sido elegido por la compañía Apple para ser el estándar de sus productos iPod y iTunes.

MPEG-4 AAC incorpora dos perfiles más:

- Speech Codec HVCX: que se emplea para la voz con tasas de transmisión de datos de 2 kbps y 4 kbps.
- CELP Coder (*Code Excited Linear Prediction*): que proporciona codificaciones de entre 6 kbps y 18 kbps con opciones de muestreo de 8 kHz y 16 kHz.

MPEG-4 *High Efficiency* AAC V2, también llamado HE-AAC V2 o AAC Plus, es un *códec* que mejora las características de MPEG-4 AAC aumentando la capacidad de compresión sin detrimento de la calidad. La versión 2 de AAC incorpora la técnica SBR (*Spectral Band Replication*), que analiza la correlación entre las bandas de alta frecuencia y las de baja frecuencia para replicar una a partir de la otra. También incorpora el sistema PS (*Parameterized Representation*), que parametriza la información de los dos canales estéreo para transmitirlos como un canal mono con diferentes señales y después reconstruye la señal estéreo. AAC V2 ha sido el estándar adoptado por sistemas como DVB (*Digital Video Broadcasting*) y otros grandes estándares internacionales como 3GPP y 3GPP2 para ser utilizado en las redes de difusión 3G. También ha sido adoptado por el estándar coreano S-DMB (*Satellite-Digital Multimedia Broadcasting*) y el japonés ISDB-T (*Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial*) para sus sistemas de difusión de televisión digital.

Figura 21. Esquema de los formatos de MPEG para audio.



Los archivos MPEG-4 de audio incluyen además un contenedor ISO con metadatos como el título de la canción, el autor o la portada del disco, entre otros. Suelen estar representados por la extensión .mp4.

2.1.14.2. AMR-WB+

AMR-WB+ (*Extended Adaptive Multirate Wideband*) es un códec de la familia AMR, competencia de los códec AAC de MPEG. Las aplicaciones de multimedia en movilidad requieren códec de audio capaces de manejar varios tipos de contenidos como voz, noticias y música, entre otros, con tasas de transmisión de datos bajas y sin pérdida notable de calidad. Con las fluctuaciones en la potencia de la señal propias de un entorno en movilidad, se hace necesario el emplear códec capaces de adaptar su tasa de transmisión de datos rápidamente como el AMR-WB+, que es capaz de adaptarse proporcionando un rango de tasa de transmisión de bits de entre 6 kbps y 48 kbps para audio estéreo con un muestreo de hasta 48 kHz. AMR-WB+ ha sido adoptado para su uso en la difusión de televisión digital en movilidad por el proyecto 3GPP y el sistema DVB (*Digital Video Broadcasting*); se emplea para servicios PSS (*Packet-Switched Streaming*), MBMS (*Multimedia Broadcast Multicast Service*), DVB-H IP Datacasting (*IP Datacasting sobre DVB-H*) y MMS (*Multimedia Messaging Service*). También se usa para servicios de *podcasting* y en *audiobooks*.

2.1.14.3. Códecs propietarios

Muchos de los *códecs* empleados por la industria multimedia no pertenecen a la familia MPEG. Algunos de los más populares están asociados a casas comerciales como Windows Media, Apple QuickTime y RealAudio.

Windows Media Player suele venir incluido en los equipos con Windows como sistema operativo. Apple QuickTime soporta una gran variedad de *códecs*, incluyendo MPEG-4, y viene incluido en los dispositivos de la marca Apple. RealAudio proporciona gratuitamente la mayoría de sus *códecs*.

2.1.15. Streaming

La difusión de vídeo en *streaming* se ha ido volviendo cada vez más popular a medida que crecía la capacidad de transmisión de datos de Internet. La alternativa al vídeo en *streaming* en Internet es descargar el archivo completo, que puede ser de 20 MB para 3 minutos de vídeo en MPEG-4. Frente a los tiempos de espera para la descarga, el vídeo en *streaming* es visionado por los usuarios al mismo tiempo que se recibe. Por ejemplo, con una conexión de 128 kbps se puede recibir sin problemas un flujo de vídeo en *streaming* de 64-100 kbps.

El *streaming* es posible gracias a la existencia de *códecs* de compresión altamente avanzados, junto con tecnologías que permiten convertir los formatos almacenados en paquetes que se pueden enviar a través de Internet o de redes IP.

Existen dos aproximaciones distintas a los servicios en *streaming*: se puede recibir audio y vídeo en *streaming* mediante el uso del protocolo HTTP, y también se puede recibir *streaming* en tiempo real mediante los protocolos RTP y RTSP. Además, existen los formatos propietarios de *streaming* Apple QuickTime Server, RealTime Server, Windows Media y Flash Video Streaming Server.

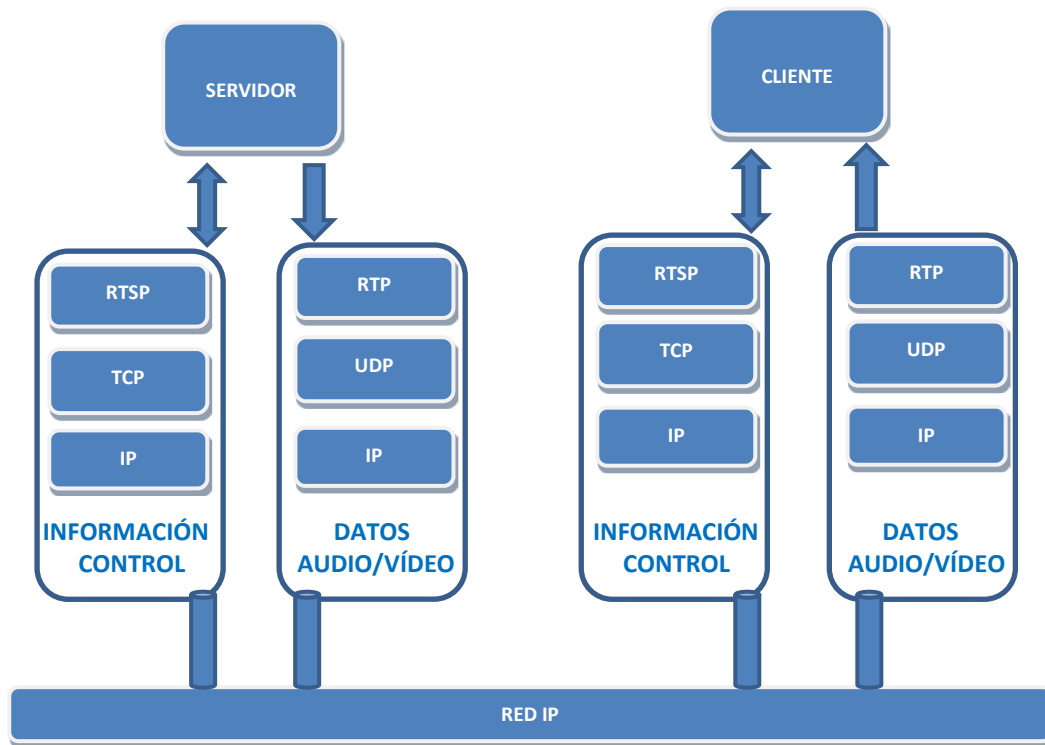
El proceso de *streaming* conlleva los siguientes pasos: captura y codificación de los contenidos, conversión a un formato de *streaming*, subida a un servidor de *streaming*, transporte a través de red IP y visionado en un reproductor multimedia. Empresas como Microsoft, RealNetworks y Apple proporcionan paquetes completos de aplicaciones que

comprenden todo el proceso de *streaming*.

La captura y codificación de audio y vídeo debe ser realizada en alguno de los formatos compatibles con la tarjeta de vídeo del ordenador o del servidor que realiza la captura. El flujo de vídeo capturado puede estar comprimido o sin comprimir. Después de su captura, los archivos son almacenados en un formato que dependerá del codificador empleado, como .mpg o .mp4.

Para poder enviar los archivos en *streaming* en tiempo real se necesita dotarles de la información de control de tiempo que necesita el servidor para controlar el envío, por lo que los archivos son convertidos a un formato de *streaming* con información de control de tiempo y metadatos.

Los servidores de *streaming* tienen aplicaciones especializadas para poder entregar series continuas de paquetes a sus clientes a través de la red IP. Estas aplicaciones emplean protocolos desarrollados por la IETF (Internet Engineering Task Force) como RTP (*Real Time Protocol*), RTCP (*Real Time Control Protocol*) y RTSP (*Real Time Streaming Protocol*). El proceso de *streaming* conlleva el uso de dos canales, uno de datos con la información del vídeo y el audio, y otro de control que proporciona *feedback* entre el cliente y el servidor. Los datos de vídeo y audio que conforman el grueso de la transmisión son gestionados de forma muy eficiente mediante el protocolo RTP basado en UDP (*User Datagram Protocol*) e IP. El cliente proporciona información del número de paquetes recibidos y de la calidad de la señal a través de un canal RTCP. Basándose en esa información, el servidor puede corregir posibles errores y enviar los paquetes de datos a una tasa de transmisión adecuada. Todo el contenido enviado al cliente se hace además en el marco del protocolo RTSP, que proporciona un control total del flujo de datos habilitando opciones como avance, reverso, pausa y *play* para el flujo de vídeo.

Figura 22. Esquema de un servidor de vídeo en *streaming*.

Durante una sesión de *streaming*, si la tasa de transmisión de datos desciende debido a malas condiciones del enlace, el cliente debe enviar una señal al servidor para que este modifique el flujo de datos disminuyendo la tasa de transmisión. Este proceso se lleva a cabo mediante una conexión *unicast*. Para cada cliente existe un flujo independiente de datos (audio y vídeo) y de información de control, lo que garantiza el proceso. Pero este tipo de conexiones no son las ideales cuando se tienen a muchos usuarios accediendo al mismo contenido y generando múltiples flujos de datos simultáneamente.

Otra opción es emplear transmisiones *multicast* en las que todos los usuarios reciben los mismos contenidos. Los *routers* de la red reciben el flujo *multicast* y lo reenvían a todos los enlaces. Así, en lugar de miles de sesiones *unicast*, se tiene una única sesión *multicast*, pero con la desventaja de que ahora el usuario no puede informar al servidor de cambios en la tasa de transmisión de datos o de cualquier otro problema.

MPEG-4 aporta, además, un mecanismo para proveer a sus clientes de altas tasas de transmisión de datos en entornos de banda ancha. MPEG-4 transmite un flujo de vídeo en baja resolución junto con varios flujos de vídeo adicionales llamados *helper streams*

que sirven para complementar al original, si el ancho de banda lo permite, generando una imagen de alta calidad.

Tabla 16. Tasas de transmisión de datos para *streaming* en QuickTime.

Tasa de bits	Resolución
1Mbps	640x480
1 Mbps	480x360
768 kbps	320x240
512 kbps	320x240
384 kbps	320x240
256 kbps	240x180
112 kbps	240x180
56 kbps	192x144

2.1.16. Formatos de archivo multimedia digital

Existen multitud de formatos de archivo digital disponibles en el mundo multimedia, tanto libres como propietarios.

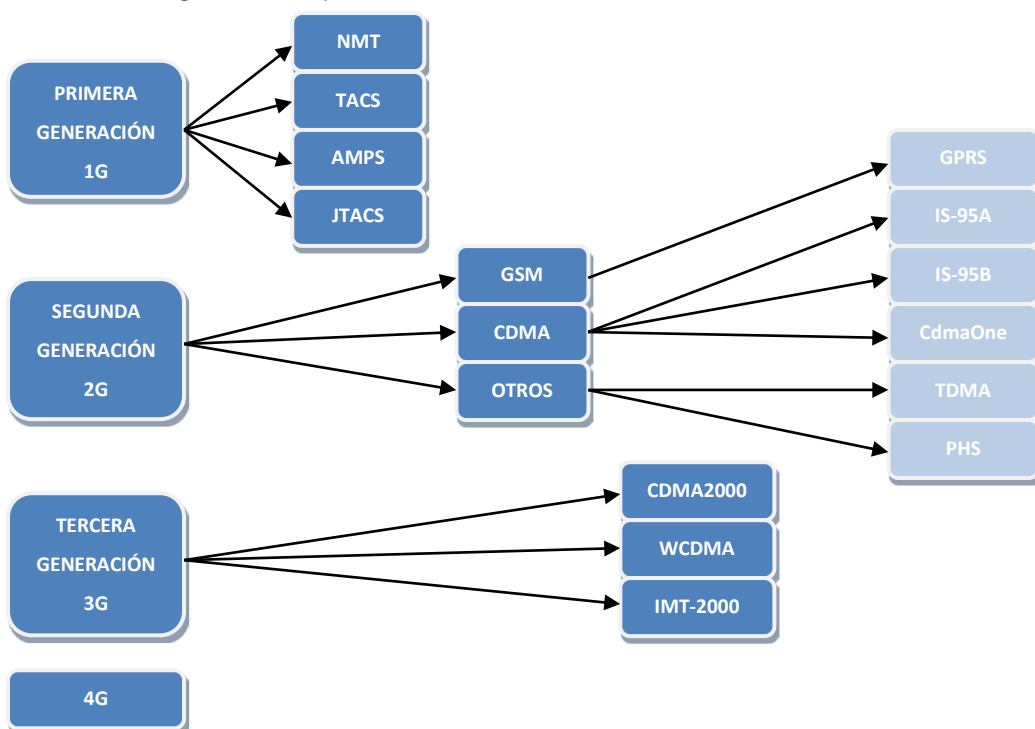
Tabla 17. Formatos de archivo multimedia digital.

Formatos de archivo para imagen	
BMP (.bmp)	Microsoft Windows Bitmap
GIF (.gif)	<i>Graphics Interchange Format</i>
PNG (.png)	<i>Portable Network Graphics</i>
JPEG (.jpg)	<i>Joint Photographic Experts Group</i>
WBMP (.bmp)	<i>Wireless Bitmap</i>
Formatos de archivo para vídeo	
AVI (.avi)	<i>Audio Video Interleaved</i>
DV (.dv)	<i>Digital Video</i>
MJPEG (.mjpeg)	<i>Motion JPEG</i>
MPEG-2 (.mp2)	MPEG-2
MPEG-4 (.mp4)	MPEG-4
QuickTime (.mov)	Apple QuickTime
Raw MPEG-4 (.m4v)	<i>Source MPEG-4</i>
Flash Video (.flv)	Adobe Flash Video
Raw video files (.yuv)	YUV
RealMedia (.rm)	RealMedia Video
MPEG-2 Program Stream (.mpg)	<i>MPEG-2 Program Stream</i>
Formatos de archivo para audio	
MP3 (.mp3)	MPEG 1 layer 3
Windows Media Audio (.wma)	Windows Media Audio
MPEG-4 audio (.m4a)	<i>MPEG-4 audio</i>
AAC (.aac)	<i>MPEG-4 Advanced Audio Coding</i>
RealMedia Audio (.rma)	RealMedia Audio
WAV (.wav)	Windows Audio and Video
MIDI	<i>Musical Instrument Digital Interface</i>

2.2. EVOLUCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA TELEFONÍA MÓVIL

Las redes de telefonía móvil han sido el sector de las telecomunicaciones que más ha crecido durante la última década. La industria de la telefonía móvil está en constante proceso de cambio y adaptación con la inclusión de servicios multimedia, juegos, Internet y aplicaciones de ofimática. A continuación, se repasa brevemente la evolución de la telefonía móvil desde una perspectiva tecnológica.

Figura 23. Esquema de la evolución de los sistemas de telefonía móvil.



2.2.1. (1G) Primera generación de sistemas de telefonía móvil

Los orígenes de la telefonía móvil se remontan a la década de los ochenta, cuando se comercializaron los primeros sistemas que utilizaban tecnología analógica. En un primer momento, los sistemas de telefonía móvil se diseñaron pensando en su uso en automóviles. Los primeros teléfonos móviles eran muy grandes y consumían mucha batería. Los nuevos servicios móviles requerían del despliegue y mantenimiento de una costosa red de repetidores que era utilizada por un reducido número de usuarios. Estos factores, unidos a otras limitaciones tecnológicas de los dispositivos, supusieron un obstáculo para el potencial de la nueva tecnología y sus posibilidades de desarrollo.

En los Estados Unidos, los servicios de telefonía móvil se lanzaron en 1983 bajo el sistema AMPS (*Advanced Mobile Phone System*). AMPS era una tecnología de división de frecuencia con acceso múltiple FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) que utilizaba ondas portadoras analógicas de 30 kHz. Otros servicios analógicos se desarrollaron en todo el mundo en los años sucesivos. Las tecnologías para los diferentes servicios variaban, pero los principios para ofrecer los servicios que se establecieron permanecieron iguales en todos los sistemas. Los servicios de telefonía

móvil requerían del uso de diferentes frecuencias en canales adyacentes con grandes anchos de banda (30 kHz en AMPS). Grandes franjas del espectro radioeléctrico fueron ocupadas por los nuevos servicios.

En Europa, los servicios de telefonía móvil analógica se introdujeron también con gran variedad de soluciones tecnológicas. El sistema nórdico de telefonía móvil NMT (*Nordic Mobile Telephony*) se implantó en Noruega, Finlandia y Suecia. El Reino Unido, Italia y España emplearon el sistema TACS (*Total Access Communication System*). Japón creó sus propios estándares como NTT, NTACS y JTACS.

En los Estados Unidos, la FCC (*Federal Communications Commission*) otorgó licencias a dos operadores por área, uno *wireless* y otro *wireline*. Los sistemas de telefonía móvil originales utilizaban el espectro radioeléctrico de forma ineficaz, a pesar de las técnicas de compresión de voz. En aquellos países en los que los sistemas de telefonía móvil se desarrollaron rápidamente, el espectro radioeléctrico se saturó en poco tiempo. A mediados de 1989 en los Estados Unidos, la FCC había concedido licencias para 832 frecuencias (416 por portadora). Estas frecuencias utilizaban también parte de la banda UHF de 800 MHz. Los sistemas AMPS fueron totalmente reemplazados por sistemas de segunda generación (2G) en los Estados Unidos en marzo de 2008. En Europa, los sistemas de telefonía móvil de primera generación (1G) TACS y NMT también han sido totalmente reemplazados por sistemas de segunda generación (2G) como GSM y CDMA.

2.2.2. (2G) Segunda generación de sistemas de telefonía móvil (GSM)

Los sistemas AMPS (*Advanced Mobile Phone System*) fueron reemplazados por sistemas AMPS digitales (D-AMPS) que empleaban una tecnología de división temporal de múltiple acceso llamada TDMA (*Time Division Multiple Access*). D-AMPS, a pesar de ser digital, seguía siendo una tecnología 2G. La TIA (Telecommunications Industry Association) de Estados Unidos aprobó un estándar para la tecnología TDMA conocido como el Estándar 54 o IS-54. Además de la banda de los 800 MHz, se añadió la banda de 1900 MHz para servicios de comunicación personales (PCS). TDMA IS-136 fue como se llamó a esa actualización de TDMA IS-54 también llamada D-AMPS. En los Estados Unidos, las distribuidoras de señal como Cingular

Wireless (hoy AT&T Mobility LLC) proporcionaban servicios D-AMPS y fueron posteriormente actualizadas para funcionar en redes CDMA2000 y GSM.

En Europa, y gran parte del mundo, las redes GSM se convirtieron en el estándar predominante para, posteriormente en la década de los noventa, poder incluir también servicios de *roaming*²⁶ entre los territorios con redes GSM.

En 1995, la empresa estadounidense *Qualcomm* creó un estándar digital de telefonía móvil basado en tecnología CDMA. Se le llamó estándar IS-95, también conocido como *cdmaOne*. CDMA es un sistema de división de código de múltiple acceso (*Code Division Multiple Access*) en el que la misma frecuencia es compartida por varios repetidores que se distinguen mediante códigos digitales. IS-95 fue mejorado posteriormente incluyendo servicios de mensajes de texto y una mejor compresión siendo llamado IS-95B. La mayoría de proveedores cambiaron a IS-95B para poder proveer de los nuevos servicios a los usuarios.

El desarrollo de las redes de telefonía móvil de segunda generación en el mundo se ha polarizado en torno a los estándares CDMA y GSM. No obstante, en los Estados Unidos nunca existió un estándar predominante en las redes de segunda generación coexistiendo varios sistemas a la vez: CDMA, GSM, TDMA y D-AMPS. La FCC (*Federal Communications Commission*) permitió la neutralidad tecnológica en la banda de 1900 MHz para los PCS (*Personal Communications Service*). Ello implicaba que cualquier operador que accediese a la banda podía utilizar cualquier tecnología. Eso permitió la introducción de los servicios GSM por parte de la compañía VoiceStream (hoy parte de T-Mobile). La neutralidad tecnológica también permitió a muchos operadores cambiar de TDMA a CDMA2000 y a 3G-GSM.

El estándar GSM (*Global System for Mobile communications*) fue creado en 1987 como una mejora de la tecnología TDMA. GSM usa portadoras de 200 kHz con tecnología de transmisión *multiplexada* por división de tiempo con ocho canales. La tasa de transmisión de datos máxima de los ocho canales combinados es de 270 kbps. GSM

²⁶ La itinerancia (popularmente conocida por el vocablo inglés *roaming*) es un concepto utilizado en comunicaciones inalámbricas que está relacionado con la capacidad de un dispositivo para moverse de una zona de cobertura a otra.

combina las tecnologías FDMA y TDM y, además, ofrece la posibilidad de transportar datos mediante *circuit-switched*²⁷ e información de fax.

El espectro radioeléctrico para GSM ha sido limitado a tres bandas de frecuencia principales: 800, 1800 y 1900 MHz (sólo para los Estados Unidos); y es la tecnología de más amplia difusión en el mundo.

GSM utiliza un sistema para la codificación de voz que proporciona tasas de transmisión de voz codificada en bits de 13, 12.2 y 6,5 kbps. La modulación utilizada es GMSK²⁸ (*Gaussian Minimum Shift Keying*).

Poco después del lanzamiento de los primeros servicios de telefonía móvil, se hizo evidente su potencial, pero no fue hasta la década de los noventa, con el lanzamiento de la tecnología GSM, la llegada del *roaming* global, las nuevas posibilidades del SMS y el *email*, que la telefonía móvil comenzó a desarrollarse a gran velocidad.

2.2.2.1. Tecnología GPRS

GPRS (*General Packet Radio Service*) es una tecnología que añade una señal con la técnica de *packet-switched*²⁹ (conmutación de paquetes) a una red GSM con técnica de *circuit-switched* (conmutación de circuitos). Las redes GPRS utilizan las frecuencias portadoras existentes y no requieren de nuevo espacio en el espectro radioeléctrico. En las redes GPRS, uno de los ocho canales de la portadora (270 kbps entre los ocho canales) se dedica a la transmisión de datos con técnica de conmutación de paquetes. Esto permite que haya una portadora capaz de enviar paquetes de datos a 115 kbps que pueden ser recibidos por los dispositivos con tecnología GPRS. De este modo, los

²⁷ La conmutación de circuitos o *circuit-switching* es un tipo de conexión que realizan los diferentes nodos de una red para lograr un camino apropiado para conectar dos usuarios de una red de telecomunicaciones. A diferencia de lo que ocurre en la conmutación de paquetes, en este tipo de conmutación se establece un canal de comunicaciones dedicado entre las dos estaciones. También se reservan recursos de transmisión y de conmutación de la red para su uso exclusivo en el circuito durante la conexión. La conexión es transparente, una vez establecida parece como si los dispositivos estuvieran realmente conectados.

²⁸ La Modulación por desplazamiento mínimo gaussiano, también conocida por su acrónimo en inglés GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*), es un esquema de modulación digital por desplazamiento de frecuencia de fase continua, similar a la MSK.

²⁹ La conmutación de paquetes o *packet-switching* es un método de envío de datos en una red de computadoras. Un paquete es un grupo de información que consta de dos partes: los datos propiamente dichos y la información de control que indica la ruta a seguir a lo largo de la red hasta el destino del paquete. Existe un límite superior para el tamaño de los paquetes; si se excede, es necesario dividir el paquete en otros más pequeños para su transporte.

dispositivos tienen un canal de transmisión de datos siempre abierto y eliminan los retrasos en la transmisión provocados por la tecnología *circuit-switched*.

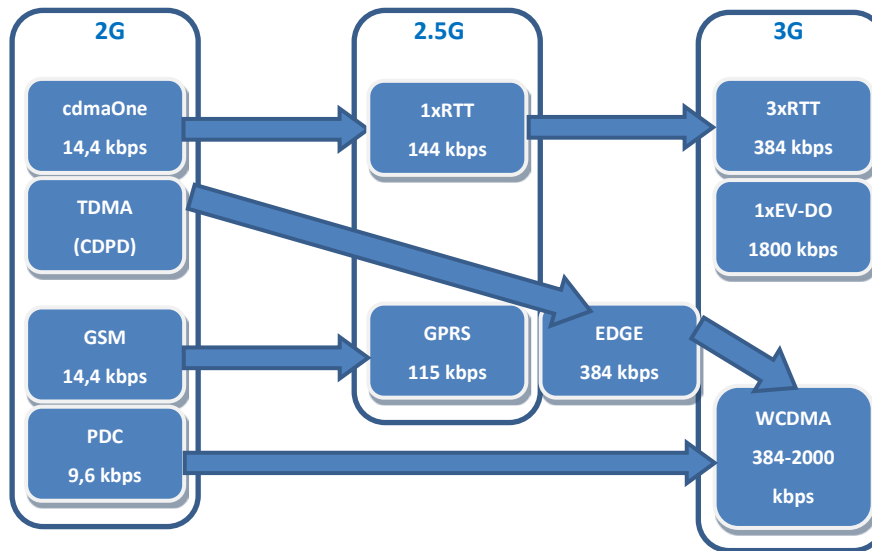
La técnica de *packet-switched*, en condiciones de poca sobrecarga de la red, permite a los usuarios velocidades de descarga de datos de 50 kbps y de 20 kbps para el envío, lo que hace factible servicios como el SMS, el MMS, el *email* y el intercambio de *clips* de vídeo y audio.

Las aplicaciones de las redes GPRS no se limitan sólo a los teléfonos móviles. Las tarjetas GPRS han sido muy utilizadas en PDAs, ordenadores, agendas portátiles y máquinas de fax, entre otros. Sus protocolos de comunicación hacen posible su empleo también en redes de transmisión privadas.

Para poder acceder a los servicios GPRS, se necesita contar con la inclusión de un puerto de apoyo en el servidor GPRS y otro puerto de apoyo en el transmisor, que interactúan con el puerto local de registro para obtener los datos y la autenticación del suscriptor. El puerto de apoyo del transmisor GPRS también puede interactuar con otras redes de datos externas como las basadas en los protocolos IP.

La tecnología GPRS tiene también un sistema que reconoce las diferentes clases de tráfico de datos y los gestiona en consecuencia para evitar los retrasos por medio de un sistema llamado de Calidad de Servicio o QoS (*Quality of Service*). Por ejemplo, los servicios de audio y vídeo pueden recibir prioridad frente a la transmisión de archivos o paquetes de datos para otras aplicaciones.

Figura 24. Tasas de transmisión de datos en redes de telefonía móvil.



2.2.2.2. Redes EDGE (2.5G)

El siguiente paso hacia redes con tasas de transmisión de datos mayores son las redes EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*). Las redes EDGE introducen nuevas tecnologías como la modulación 8PSK³⁰ (*8 Phase Shift Keying*), así como mejores protocolos para la compresión de datos y la recuperación de errores. Con canales de radiofrecuencia de 200 kHz (igual que en las redes GSM y GPRS), las redes EDGE pueden emplear tasas de transmisión de datos de hasta 500 kbps por portadora. Esta tasa de transmisión de datos constituye un fondo compartido de ancho de banda para los usuarios y está disponible en condiciones ideales de transmisión con buena señal. En cualquier caso, la naturaleza compartida del ancho de banda de las redes EDGE hace que las velocidades de transmisión de datos normales sean de 200 kbps aproximadamente, por lo que EDGE ha sido considerada una tecnología de transición entre el 2G y el 3G siendo llamada 2.5G.

2.2.3. Tecnologías basadas en CDMA

La *multiplexación* por división de código, acceso múltiple por división de código o CDMA (del inglés *Code División Multiple Access*) es un término genérico para varios métodos de *multiplexación* o control de acceso basados en la tecnología de espectro

³⁰ La modulación por desplazamiento de fase o PSK (*Phase Shift Keying*) es una forma de modulación angular que consiste en hacer variar la fase de la portadora entre un número de valores discretos. La diferencia con la modulación de fase convencional es que, mientras en ésta la variación de fase es continua en función de la señal moduladora, en la PSK la señal moduladora es una señal digital y, por tanto, con un número de estados limitado.

expandido. El término CDMA, sin embargo, suele utilizarse popularmente para referirse a una interfaz de aire inalámbrica de telefonía móvil desarrollada por la empresa Qualcomm y aceptada posteriormente como estándar en los Estados Unidos bajo el nombre IS-95 (o, según la marca registrada por Qualcomm, "cdmaOne" y su sucesora «CDMA2000»). Los sistemas desarrollados por Qualcomm emplean tecnología CDMA, pero no son los únicos en hacerlo. A continuación, se ven los sistemas de telefonía móvil basados en la tecnología CDMA.

2.2.3.1. Tecnologías 2G: cdmaOne

Los servicios cdmaOne están basados en las tecnologías de división de código con acceso múltiple. Los estándares para servicios basados en CDMA fueron etiquetados en Estados Unidos como IS-95. El estándar IS-95 de 1993 fue revisado en el año 1995 pasando a llamarse IS-95A y se convirtió en la base para la mayoría de redes cdmaOne en todo el mundo.

La tecnología cdmaOne utiliza una portadora de 1,25 MHz de ancho de banda para proporcionar servicios con división de código de acceso múltiple. El sistema cdmaOne emplea las bandas de frecuencia de 800 MHz y 1900 MHz. La utilización de la técnica de división de código con acceso múltiple tiene muchas ventajas como el uso de frecuencias comunes en canales adyacentes, la liberación rápida de los canales y una gran resistencia a las interferencias.

Las tecnologías basadas en CDMA ofrecen soluciones únicas gracias a la técnica de espectro ensanchado, lo que las diferencia de las tecnologías GSM y TDMA. Primero, en los sistemas basados en FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) como GSM, los canales adyacentes no pueden utilizar la misma frecuencia. Esto puede provocar una propagación irregular de las ondas, además de volver la señal más vulnerable a las interferencias y al ruido. Cuando se emplea CDMA, todos los canales pueden utilizar las mismas frecuencias sin tener que seguir ninguna estructura concreta, lo que hace que el sistema sea más robusto y fácil de diseñar.

En sistemas con expansión de espectro como el CDMA, la propagación de ondas en múltiples direcciones no es un problema ya que las reflexiones recibidas de cualquier fuente se añaden a la recepción de la señal final. Además, la atenuación de las

frecuencias tiene poco efecto en el sistema. En los sistemas CDMA, la liberación o intercambio de canales de transmisión es suave, ya que no se requiere cambiar las frecuencias para cambiar de canal. La tecnología cdmaOne puede admitir una tasa de transmisión de datos de 14,4 kbps en un sistema con *circuit-switched* (conmutación de circuito).

2.2.3.2. Servicios 2.5G y 3G CDMA (CDMA2000)

Las limitaciones de las redes cdmaOne condujeron al desarrollo de sistemas llamados 2.5G con mejores cualidades para el manejo de datos y mayores capacidades para la voz. El primer paso de esta evolución fue el sistema 1xRTT que utiliza portadoras de 1,25 MHz. El sistema 1xRTT emplea dos canales: El canal principal tiene 8 kHz con una capacidad de 9,6 kbps y transporta la señal principal, la voz y los servicios de transmisión de datos de poco peso. Este canal es el básico en cada comunicación. El canal suplementario SCH (*Supplemental Channel*) tiene una tasa de transmisión de datos de 144-153,2 kbps y funciona mediante ráfagas de señal. La capacidad de este canal es gestionada para asignarse a los diferentes usuarios, que pueden alcanzar velocidades de transmisión de datos de entre 19,2 kbps y 144 kbps. El canal SCH está basado en protocolos de comunicación IP, lo que le permite interactuar con gran número de dispositivos y aplicaciones. La tecnología CDMA aporta a la capacidad del sistema sus técnicas de compresión y modulación superiores, así como la estructura de canales empleada. La privacidad y seguridad de la red también se ha mejorado en el sistema CDMA2000. Además, en caso necesario, las redes CDMA2000 pueden operar sobre las redes cdmaOne.

El siguiente paso en la evolución de las redes basadas en la técnica CDMA son las llamadas 3xRTT, que utilizan tres portadoras de 1,25 MHz. Las redes 3xRTT pueden ofrecer tasas de transmisión de datos de hasta 384 kbps.

2.2.4. (3G) Tercera generación de sistemas de telefonía móvil

Las redes 3G se han desarrollado como estándar global de acuerdo a una normativa de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) denominada IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications-2000*). La UIT contempla la existencia de los servicios 3G para diversas situaciones, tanto terrestres, como marítimas y

aeronáuticas, y abarcando zonas urbanas desde las muy densas hasta las más rurales y distantes. IMT-2000 define tasas de transmisión de datos de 144 kbps en desplazamientos a 120 km/h, 384 kbps cuando el dispositivo está estacionario o se mueve lentamente y 2 Mbps en interiores.

Las redes 3G se diseñaron específicamente para satisfacer las necesidades de los servicios multimedia, vídeo y audio en *streaming* y acceso a webs con aplicaciones Rich Media. El Proyecto Asociación de Tercera Generación (3GPP), la sociedad para el proyecto 3G, se creó para coordinar todos los aspectos de las redes 3G internacionalmente, incluyendo los formatos de archivos multimedia, normativas, estándares de codificación y transmisiones, lo que facilitaría la compatibilidad de estándares en la nueva generación de servicios móviles.

El diseño de las redes 3G resuelve las limitaciones de transmisión de datos de las primeras redes de telefonía móvil asignando mayor ancho de banda a las portadoras, que suelen ser de 5 MHz. La clave de la mejora de las redes 3G es que se basan en el protocolo IP y que pueden proporcionar tasas de transmisión de datos de hasta 2 Mbps.

WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access* o acceso múltiple por división de código de banda ancha) es la tecnología que emplean las redes 3G para la transmisión de datos. Dos bandas emparejadas de 5 MHz en WCDMA pueden ofrecer un canal de datos de 5,76 Mbps, lo que se traduce en 2 Mbps por usuario dependiendo del diseño de la red.

Las redes 3G se han implementado en todo el mundo a través de los estándares CDMA2000, WCDMA, UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) y 1xEV-DO (*1 Evolution-Data Optimized*).

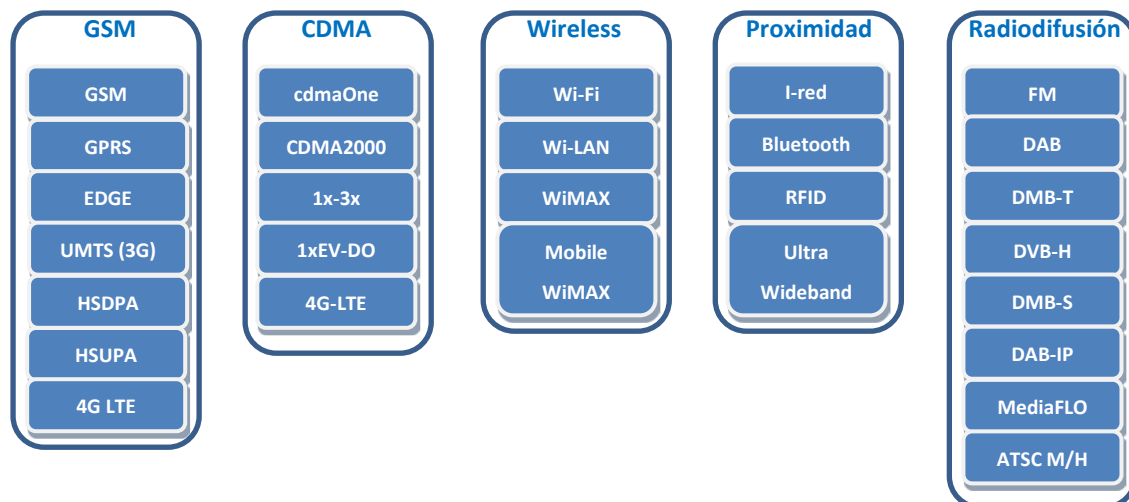
Actualmente, existen tecnologías como HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) que mejoran las características de WCDMA alcanzando tasas de transmisión de datos de hasta 14 Mbps en descarga y 1 Mbps en subida.

2.2.4.1. Redes 3G

La evolución de las redes 2G (GSM y cdmaOne) a las redes 3G se ha llevado a cabo como actualización de las tecnologías CDMA (*Code Division Multiple Access*) y GSM

(*Global System for Mobile communications*). La línea de las redes GSM ha evolucionado en redes 3GSM con la tecnología UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) que emplea como interfaz técnica WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*). Las redes CDMA, por su parte, evolucionaron desde cdmaOne a CDMA2000, que ha sido ampliada posteriormente añadiendo múltiples portadoras de 1,25 MHz (CDMA2000 1x, CDMA2000 3x y CDMA2000 6x) para satisfacer las necesidades de la televisión digital en movilidad, entre otros servicios. Ambas líneas tecnológicas se encuentran bajo el paraguas del estándar IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications-2000*) de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones).

Figura 25. Esquema de las líneas de evolución de las tecnologías móviles.



2.2.5. Tecnologías 3G: GSM y CDMA

3GSM emplea un interfaz llamado UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*). En sus primeras implementaciones basadas en la normativa 3GPP de 1999, el núcleo de la red GSM/GPRS se mantuvo sin apenas cambio para permitir la compatibilidad hacia atrás. La configuración del núcleo de 1999 suministraba dos dominios: uno *circuit-switched* (CS) y otro *packet-switched* (PS). El dominio CS soportaba arquitecturas RTC³¹ (Red Telefónica Conmutada) y RDSI (Red Digital de Servicios Integrados), y el

³¹ La Red Telefónica Conmutada (RTC) se define como el conjunto de elementos constituido por todos los medios de transmisión y conmutación necesarios para enlazar a voluntad dos equipos terminales mediante un circuito físico que se establece específicamente para la comunicación y que desaparece una vez que se ha completado la misma.

domino PS conectaba con las redes IP. La interfaz WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) empleaba un ancho de banda de 5 MHz.

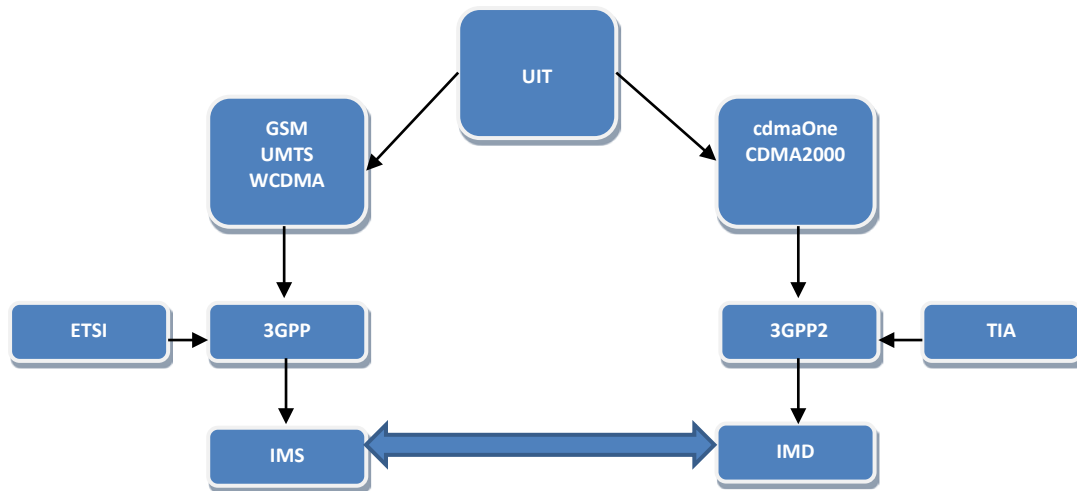
El sistema funciona en dos modos: FDD (*Frequency Division Duplex*) y TDD (*Time Division Duplex*). FDD emplea bandas separadas de 5 MHz para el enlace de subida y el de bajada. TDD emplea la misma banda compartida para los dos enlaces. Ambos modos emplean las frecuencias asignadas por UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) para WCDMA, que son 1920-1980 MHz y 2110-2170 MHz. Si se codifica cada canal de voz en AMR (*Adaptive Multi-Rate*) a 7,95 kHz se podría tener 196 canales de voz en FDD 2x5MHz o una tasa de transmisión de datos de 5,76 Mbps.

Los estándares 3G evolucionados de las redes CDMA están regulados por el 3GPP2. CDMA2000 emplea una multiportadora que permite la compatibilidad con las antiguas redes IS-95 y sus 1,25 MHz de espacio entre bandas. El modo de multiportadoras permite transmitir desde la misma estación hasta 12 portadoras de 1,25 MHz. La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) ha reconocido como estándares 3G a CDMA2000 con más de tres portadoras (CDMA2000 3x).

Otra rama en el desarrollo de las redes 3G evolucionadas de CDMA ha sido 1xEV-DO (*1 Evolution-Data Optimized*), que emplea portadoras separadas para la voz y los servicios de datos.

La evolución de las redes 3G basadas en las plataformas GSM y CDMA ha provocado que existan dos grupos distintos trabajando para cada estandarización: 3GPP para GSM y 3GPP2 para CDMA. Los esfuerzos de estas dos organizaciones han dado lugar a dos tipos de plataformas multimedia basadas en IP: IMS (*IP Multimedia System* de 3GPP) y MMD (*Multi-Media Domain* de 3GPP2). Ambas plataformas son capaces de proveer servicios de transmisión de voz y vídeo en IP con garantías de *Quality of Service* (QoS). También existe una iniciativa para hacer converger los estándares 3GPP y 3GPP2 en aras de la compatibilidad internacional.

Figura 26. Esquema de las líneas de estandarización de las redes 3G.



2.2.5.1. EV-DO

EV-DO (*Evolution-Data Optimized* o *Evolution-Data Only*), abreviado a menudo EV, es un estándar de telecomunicaciones para la transmisión inalámbrica de datos a través de redes de telefonía móvil evolucionado desde IS-95 (cdmaOne).

EV-DO está clasificado como una tecnología de transmisión de banda ancha y utiliza técnicas de *multiplexación* como CDMA (*Code Division Multiple Access*) y TDMA (*Time Division Multiplex Access*) para maximizar la cantidad de información transmitida. Es un estándar del grupo 3GPP2 que pertenece a la familia CDMA2000 y que ha sido adoptado por muchos proveedores a nivel mundial, sobre todo en el continente americano, particularmente por aquellos que ya contaban con redes IS-95/cdmaOne.

EV-DO es significativamente más rápido que la tecnología EDGE (*Enhanced Data rates for GSM of Evolution*) utilizada en las redes GSM. Provee acceso a dispositivos móviles con velocidades de hasta 2,4 Mbps en su versión Rev 0 y hasta 3.1 Mbps en su versión Rev A.

EV-DO fue desarrollado por Qualcomm en 1999 para cumplir con los requerimientos de la normativa IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications-2000*) y obtener un enlace para descarga en comunicaciones estacionarias superior a los 2 Mbps. Inicialmente, el estándar fue llamando HDR (*High Data Rate*), pero fue renombrado a 1xEV-DO después de que fuera reconocido por la UIT (Unión Internacional de

Telecomunicaciones). 1xEV-DO se refería a "1x *Evolution-Data Only*", indicando que era una evolución directa de 1x (1xRTT), cuyos canales sólo transportan tráfico de datos.

EV-DO es el estándar 3G para IS-95/CDMA2000, mientras que WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) es el estándar 3G para redes GSM. Existen varias revisiones de EV-DO numeradas alfabéticamente siendo la primera llamada Rev 0 y, posteriormente, Rev A.

Rev A ofrece una creación más rápida de paquetes en ambos enlaces (subida y bajada) a través de la interfaz inalámbrica que reduce la intermitencia y mejora las tasas de envío. Además del incremento en el enlace de bajada de 2,45 Mbps a 3,1 Mbps, Rev A cuenta con una mejora en el enlace de subida que pasa de los 153 kbps a los 1,8 Mbps. Rev B es la evolución progresiva de la especificación Rev y provee las siguientes mejoras: más velocidad en los enlaces de bajada (hasta 4,9 Mbps por operador), mayores tasas de transferencia compactando múltiples canales, aprovecha más eficazmente el uso de la batería incrementando el tiempo de uso y de espera del terminal, y aumenta la eficiencia del soporte para servicios que tienen requerimientos asimétricos de transmisión como intercambio de archivos, navegación web y entrega de archivos multimedia por banda ancha.

2.2.6. HSDPA (3.5G)

La tecnología HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*), también denominada 3.5G, 3G+ o mini 3G, es una optimización de la tecnología UMTS/WCDMA (*Universal Mobile Telecommunications System/Wideband Code Division Multiple Access*) que añade un nuevo canal compartido en el enlace descendente (*downlink*) que mejora significativamente la capacidad máxima de transferencia de información permitiendo alcanzar tasas de bajada de hasta 14 Mbps, aunque sin mejorar el 3G. HSDPA es la evolución de la tercera generación (3G) de tecnología móvil y se considera el paso previo al 4G. Es totalmente compatible en sentido inverso con WCDMA y la mayoría de los proveedores UMTS dan también soporte a HSDPA.

De la misma manera en que UMTS incrementa la eficiencia espectral en comparación con GPRS (*General Packet Radio Service*), HSDPA incrementa la eficiencia espectral

en comparación con WCDMA. La eficiencia espectral y las velocidades aumentadas no sólo habilitan nuevas clases de aplicaciones, sino que además permiten que la red sea utilizada simultáneamente por un número mayor de usuarios; HSDPA provee de tres a cuatro veces más capacidad que WCDMA. HSDPA alcanza sus elevadas tasas de velocidad gracias al empleo de la modulación 16-QAM³² (Modulación de Amplitud en Cuadratura 16), la codificación variable de errores y la redundancia incremental.

2.2.7. (4G) Cuarta generación de sistemas de telefonía móvil

4G son las siglas utilizadas para referirse a la cuarta generación de tecnologías de telefonía móvil. Es la sucesora de las tecnologías 2G y 3G, y precede a la próxima generación, la 5G. Las tecnologías 4G surgen como una evolución de las tecnologías 3G y 3.5G, que con sus tasas de transmisión de datos de 14 Mbps máximo en HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) todavía no pueden facilitar adecuadamente una oferta de servicios de multimedia masivos.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) ha creado el comité IMT-Advanced para definir los requisitos necesarios para que un estándar sea considerado 4G. Entre los requisitos técnicos que se incluyen, destaca el que las tasas de transmisión de datos deben de ser de 100 Mbps para entornos de alta movilidad y 1 Gbps para baja movilidad.

Hay que destacar que el estándar LTE (3G *Long Term Evolution*) de la norma 3GPP no es 4G porque no cumple los requisitos definidos por la IMT-Advanced en tasas de transmisión de datos y eficiencia espectral, pero la UIT declaró en 2010 que las tecnologías aspirantes a cumplir los requisitos de IMT-Advanced podían publicitarse como 4G. LTE (3G *Long Term Evolution*) proporciona tasas de bajada de datos de 100 Mbps y mejor eficacia espectral con bandas escalables de entre 1,25 MHz y 20 MHz. La mejora más significativa de LTE es una arquitectura simplificada con múltiples nodos,

³² La modulación de amplitud en cuadratura o QAM (acrónimo de *Quadrature Amplitude Modulation*) es una técnica que transporta dos señales independientes mediante la modulación de una señal portadora tanto en amplitud como en fase. Esto se consigue modulando una misma portadora desfasada en 90°. La señal modulada en QAM está compuesta por la suma lineal de dos señales previamente moduladas en Doble Banda Lateral con Portadora Suprimida. La QAM Digital, conocida también como QAM Cuantizada (de la expresión inglesa *Quantized QAM*), se basa en los principios de su similar analógica, con la diferencia de que tiene como entrada un flujo de datos binarios, el cual es dividido en grupos de tantos bits como se requieran para generar N estados de modulación, de allí que se hable de N-QAM, por ejemplo 16-QAM.

que no se basa en los modos *circuit-switched* y *packet-switched*, y que proporciona compatibilidad con otras tecnologías como 3G, WLAN o WiMAX³³.

Las redes 4G están basadas en el protocolo IP y la convergencia entre las redes de cable e inalámbricas. La tecnología 4G puede ser empleada por módems inalámbricos, móviles inteligentes (*smartphones*) y otros dispositivos móviles. Su principal diferencia con las generaciones predecesoras es la capacidad para proveer velocidades de acceso mayores de 100 Mbps en movimiento y 1 Gbps en reposo, manteniendo calidad de servicio (QoS), lo que permite ofrecer servicios de cualquier clase en cualquier momento y lugar con el mínimo coste posible. El WWRF (Wireless World Research Forum) pretende que 4G sea una fusión de tecnologías y protocolos de modo similar al 3G, que incluye tecnologías GSM y CDMA.

La empresa japonesa NTT DoCoMo ha sido la primera en realizar experimentos con las tecnologías 4G consiguiendo tasas de transmisión de 100 Mbps en un vehículo que circulaba a 200 km/h. NTT DoCoMo fue también la primera compañía en ofrecer servicios denominados 4G, pero basados en tecnología LTE, en diciembre de 2010 en las ciudades de Tokio, Nagoya y Osaka.

2.2.8. Difusión de datos y multimedia en redes móviles

Conocer cómo se gestionan los datos en los distintos tipos de redes es importante porque las redes móviles constituyen uno de los principales accesos de los usuarios a Internet, lo que genera pingües beneficios a las operadoras. La industria de la telefonía ha cambiado mucho desde la introducción de los *smartphones* como iPhone que, junto con la expansión de las redes sociales como Facebook, Twitter y portales como Youtube, han cambiado el modo en el que se gestionan los contenidos multimedia en el mundo.

En la telefonía móvil de primera generación (1G), el sistema sólo utilizaba módems de datos para conexiones analógicas. El ancho de banda utilizado para los datos era el mismo que el de la voz. Los codificadores de voz trabajaban en un rango de 8-13 kbps, lo que se amoldaba a las tasas de transmisión de datos de 9,6 kbps de la época analógica. Estas tasas eran suficientes para las aplicaciones no multimedia de entonces,

³³ La tecnología WiMAX se explica en el capítulo 4.

pero insuficientes para los estándares actuales. No obstante, los fabricantes tomaron conciencia de las capacidades de transporte de datos y comenzaron a incluir servicios de *email* y navegadores.

La introducción de las tecnologías de segunda generación (2G) permitió nuevas posibilidades gracias a la técnica *circuit-switched*, lo que llevó a prescindir del módem analógico que estaba muy limitado en velocidad debido al transporte de los servicios de voz.

Cuando se diseñaron las primeras redes de telefonía móvil, no se tuvieron en cuenta las capacidades de transmisión de datos. Las redes se diseñaron inicialmente para servicios de transporte de voz, centrándose en la codificación y compresión digital de la señal de voz. Las técnicas de codificación y compresión de vídeo no habían avanzado todavía lo suficiente como para plantearse su inclusión en los servicios móviles. La técnica *circuit-switched* no fue incorporada hasta la segunda generación (2G). Las capacidades de transmisión de datos bajo el protocolo IP no se añadieron hasta la generación 2.5 con la creación de los estándares GPRS (evolución de GSM) y CDMA2000 (evolución de CDMA).

Las redes GSM (*Global System for Mobile communications*) soportan la inclusión de servicios SMS (*Short Message Service*) en su canal de señal. La tecnología SMS es una de las más extendidas del mundo, junto con la tecnología GSM. Las redes GPRS (*General Packet Radio Service*) también permiten los servicios SMS, pero descomponen los datos en paquetes en lugar de encapsularlos en el canal de señal principal, lo que proporciona mayor capacidad de transporte de datos al sistema.

La transmisión de datos por conmutación de circuito (*circuit-switched*) puede tener lugar en las redes GSM a velocidades de transmisión de 9,6 kbps o 14,4 kbps. La conexión es similar a la que se emplearía en una llamada por módem con conmutación de circuito. En las redes actuales se emplea la técnica de conmutación de circuito de alta velocidad HSCSD (*High Speed Circuit-Switched Data*), lo que permite tasas de transmisión de datos de hasta 38 kbps. Las redes de segunda generación GSM y CDMA (cdmaOne) se diseñaron esencialmente para comunicaciones por voz. La transmisión de datos por conmutación de circuito en la red está, como se ha visto, limitada a 9,6 kbps y

a 14,4 kbps, lo que es suficiente para poder ofrecer servicios de *email* y navegadores web, pero no para el tratamiento de audio y vídeo.

Otro problema para el tratamiento de datos en las redes 2G estriba en las condiciones de conectividad para la transmisión de datos. La mayoría de aplicaciones de datos como el *email* o el *streaming* dependen de la conectividad para su servicio, lo que sólo se puede garantizar en redes con técnica de conmutación de paquetes (*packet based networks*).

Las redes 2.5 han intentado superar parte de estas limitaciones. Las redes GPRS emplean una portadora compartida de 115 kbps, pero se tiene que repartir hasta entre ocho usuarios. Las redes CDMA2000 1x ofrecen una tasa de transmisión de datos compartida de 144 kbps, que queda seriamente limitada cuando se utiliza por varios usuarios a la vez, llegando como máximo a los 70-80 kbps reales.

Las redes 2,5G, a pesar de las mejoras como la conectividad IP y los servicios de calidad de servicio (QoS), seguían presentando muchas limitaciones en lo referente a tratamiento de datos debido a la escasa capacidad de ancho de banda. El número de usuarios simultáneos, especialmente en las horas punta, hacía muy ineficaz el sistema. La capacidad de transmisión de datos dependía del número de usuarios, así como de la posición del dispositivo móvil respecto a las células de la red.

Para permitir el uso de aplicaciones Rich Media, lo que incluye *clips* de vídeo, audio, descargas y búsquedas web de contenido multimedia, las redes 2G y 2.5G debían evolucionar, lo que dio lugar a la aparición de las redes de tercera generación (3G).

Mención aparte merece la tecnología WAP (*Wireless Access Protocol*). El tamaño de las pantallas de los dispositivos móviles hacía necesario el desarrollo de un nuevo código de lenguaje hipertexto para que las páginas web pudieran visualizarse correctamente. Las especificaciones del sistema WAP fueron creadas por el foro WAP en 1995 como una evolución del sistema XML (*eXtensible Markup Language*) utilizando la normativa WML (*Wireless Markup Language*). El objetivo principal era crear un sistema para procesar información que estuviera basado en el texto y en la capacidad de gestionar imágenes monocromáticas. WAP se diseñó para trabajar con la mayoría de redes de telefonía móvil: IS-95, cdmaOne, CDMA2000, GSM, GPRS y

EDGE, así como en el entorno de la tercera generación 3G. A pesar de lo prometedor del sistema, WAP no se ganó el favor de los usuarios. El sistema requería que los dispositivos se conectasen a sitios web con compatibilidad WAP. La mayoría de aplicaciones comenzaron a desarrollarse en el marco de la tecnología SMS. No obstante, una evolución del sistema WAP llamada i-mode y desarrollada por NTT DoCoMo en 1999 tuvo éxito en Japón.

Tabla 18. Desarrollo de servicios para líneas de telefonía móvil.

2G	2,5G	3G
Llamadas de voz	Llamadas de voz	Llamadas de voz
Banca electrónica	Banca electrónica	Banca electrónica
Navegación web (limitada)	Navegación web (limitada)	Navegación web (limitada)
SMS	SMS	SMS
Videojuegos (Gráficos limitados)	Videojuegos (Gráficos limitados)	Videojuegos (Gráficos limitados)
	Descarga de audio y vídeo	Descarga de audio y vídeo
	MMS	MMS
	Transmisión de fotografías	Transmisión de archivos
	Transmisión de archivos	Servicios de intranet
	Servicios de intranet	Videoconferencia
		<i>Streaming</i> de audio y vídeo
		Televisión en directo
		MMS avanzados
		Videojuegos avanzados
		Aplicaciones Rich Media

2.2.9. Difusión de datos y multimedia en redes móviles 3G

Las redes 3G se diseñaron específicamente para satisfacer las necesidades de los servicios multimedia, vídeo y audio *streaming* y acceso a webs con aplicaciones Rich Media. Las redes 3G asignan mayor ancho de banda a las portadoras, en torno a los 5 MHz, y emplean protocolos IP, lo que les permite proporcionar tasas de transmisión de datos de hasta 2 Mbps.

2.2.9.1. UMTS/WCDMA

WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access* o Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha) es la tecnología que emplean las redes 3G para la transmisión

de datos. Las dos bandas de 5 MHz emparejadas en WCDMA pueden ofrecer un canal de datos de 5,76 Mbps, lo que se traduce en 2 Mbps por usuario. Los datos en las redes WCDMA se transmiten en forma de *frames* con codificación QPSK³⁴ (*Quadrature Phase-Shift Keying*).

Tabla 19. Clases de servicios WCDMA según el estándar 3GPP.

Tasa de transmisión de datos	Servicio
32 kbps	Voz y datos hasta 32 kbps
64 kbps	Voz AMR y datos
128 kbps	Videoconferencia y datos
384 kbps	Paquetes de datos
784 kbps	Más paquetes de datos
2 Mbps	Descarga de datos

2.2.10. Especificidades por países

A principios de 2010, el número de usuarios global de tecnologías GSM era de 4400 millones de personas, mientras que los usuarios de tecnologías CDMA eran 600 millones. A día de hoy, se ha producido una migración masiva hacia las tecnologías 3G con Estados Unidos, Europa y Japón liderando la carrera, y los mercados emergentes como China, Brasil y la India aumentando su cuota de usuarios rápidamente.

A continuación, se hace un repaso de cómo se han implementado las tecnologías de telecomunicaciones móviles en las distintas regiones del mundo.

2.2.10.1. Europa

La tecnología libre GSM (*Global System for Mobile communications*, y originariamente del francés *Groupe Spécial Mobile*) es el sistema que impera en Europa. La Asociación GSM (GSMA o GSM Association) dice que GSM es el estándar en telecomunicaciones móviles más extendido en el mundo, con cerca del 90% de los terminales mundiales en

³⁴ La modulación por desplazamiento de fase o PSK (*Phase Shift Keying*) es una forma de modulación angular que consiste en hacer variar la fase de la portadora entre un número de valores discretos. La diferencia con la modulación de fase convencional es que, mientras en ésta la variación de fase es continua en función de la señal moduladora, en la PSK la señal moduladora es una señal digital y, por tanto, con un número de estados limitado. QPSK es conocida también como *Quaternary PSK* (PSK Cuaternaria), *Quadrature PSK* (PSK Cuadrafásica) o 4-QAM, pese a las diferencias existentes entre QAM y QPSK. Esta modulación digital es representada en el diagrama de constelación por cuatro puntos equidistantes del origen de coordenadas. Con cuatro fases, QPSK puede codificar dos bits por cada símbolo.

uso. GSM cuenta con más de 4400 mil millones de usuarios en 220 países distintos, siendo el estándar predominante en Europa, América del Sur, Asia y Oceanía, además de tener presencia en América del Norte.

La ubicuidad del estándar GSM ha sido una ventaja, tanto para los consumidores que se benefician de la capacidad de itinerancia y de la facilidad de cambio de operador sin necesidad de cambiar de terminal (sólo se requiere sustituir la tarjeta SIM³⁵), como para los operadores de red, que pueden elegir entre múltiples proveedores de sistemas GSM al tratarse de un estándar abierto que no requiere del pago de licencias. GSM implementó por primera vez el servicio de mensajes cortos de texto (SMS) que posteriormente fue extendido a otros estándares. Además, GSM tiene un número único de emergencias a nivel mundial, el 112, que facilita que los viajeros de cualquier parte del mundo puedan comunicar situaciones de emergencia sin necesidad de conocer el número local.

El estándar GSM inició su andadura en 1982, cuando en la conferencia de telecomunicaciones CEPT (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations) se creó el grupo de trabajo Groupe Spécial Mobile o GSM, cuya tarea era desarrollar un estándar europeo de telefonía móvil digital. Se buscaba evitar los problemas de las redes analógicas de telefonía móvil, que habían sido introducidas en Europa a finales de los años cincuenta y que no fueron del todo compatibles entre sí pese a usar, en parte, los mismos estándares tecnológicos. En el grupo GSM participaron 26 compañías europeas de telecomunicaciones.

Las especificaciones para el primer estándar GSM, llamado GSM-900, se finalizaron en 1990, y un año más tarde le siguió el estándar DCS-1800. Los primeros prototipos de equipos de telefonía con tecnología GSM fueron presentados en 1991. De manera

³⁵ Una tarjeta SIM (acrónimo de *Subscriber Identity Module*, en español Módulo de Identificación de Abonado) es una tarjeta inteligente desmontable usada en teléfonos móviles y módems HSPA o LTE que se conectan a un puerto USB. Las tarjetas SIM almacenan de forma segura la clave de servicio del suscriptor usada para identificarse ante la red, de forma que sea posible cambiar la línea de un terminal a otro simplemente cambiando la tarjeta. El uso de la tarjeta SIM es obligatorio en las redes GSM. Su equivalente en las redes UMTS se denomina USIM o UICC (acrónimo de *Universal Integrated Circuit Card*, o Tarjeta Universal de Circuito Integrado), siendo más popular el RUIM (*Removable User Identify Module*, o Módulo de Identidad de Usuario Desmontable) de los teléfonos CDMA.

paralela, se cambió el nombre del grupo a Standard Mobile Group (SMG) y las siglas GSM, a partir de ese momento, se usaron para el propio estándar.

En 1992, las primeras redes europeas con tecnología GSM-900 iniciaron su actividad; y ese mismo año fueron introducidos en el mercado los primeros teléfonos móviles GSM, siendo el primero de ellos el modelo Nokia 1011. En los años siguientes, el sistema GSM compitió con otros estándares digitales, pero se terminó imponiendo también en América Latina y Asia.

En el año 2000, el grupo de trabajo para la estandarización del GSM se pasó al grupo TSG GERAN (Technical Specification Group GSM EDGE Radio Access Network) del programa 3GPP que había sido creado para desarrollar la tercera generación de telefonía móvil (3G). El sucesor de GSM, el sistema UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), fue introducido en 2001, sin embargo su aceptación fue lenta, por lo que gran parte de los usuarios de telefonía móvil seguían utilizando tecnología GSM todavía en 2010.

Foto 6. Dispositivos GSM de 1991.



2.2.10.2. Estados Unidos

El mercado estadounidense ha estado dominado tradicionalmente por las tecnologías CDMA (*Code Division Multiple Access*) y TDMA (*Time Division Multiple Access*), con

una tardía y tímida penetración del sistema GSM (*Global System for Mobile communications*). En 2004, la empresa AT&T Wireless se fusionó con Cingular Wireless y, en 2009, Verizon Wireless se fusionó con Alltel, pasando a dominar entre las dos compañías un mercado con más de 300 millones de clientes.

Las compañías AT&T y T-Mobile proporcionan servicios GSM, 3GSM y HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*). Verizon y Sprint ofrecen servicios basados en cdmaOne, CDMA2000 y EV-DO. AT&T proporciona servicios HSDPA en la banda de los 850 MHz, y T-Mobile lo hace en la banda AWS³⁶ (*Advanced Wireless Services*).

En el año 2008, llega al mercado el iPhone 3G que vende siete millones de unidades en sus primeros seis meses, provocando que las redes 3G y HSDPA, que habían sido empleadas tradicionalmente para servicios profesionales, pasen a ser masivamente utilizadas por consumidores normales. Esta revolución sirvió para impulsar el sector de las aplicaciones multimedia y de las redes sociales (Facebook, MySpace, Youtube).

La Corporación AT&T (American Telephone and Telegraph) es una compañía estadounidense de telecomunicaciones que provee servicios de voz, vídeo, datos, e Internet a negocios, clientes particulares y agencias del gobierno. Durante su larga historia, AT&T ha sido en ocasiones la compañía telefónica más grande del mundo, el operador de televisión por cable más grande de los Estados Unidos y hasta fue clasificado como un monopolio. AT&T comenzó a ofertar servicios 3G en 2007. A finales de 2014, se estimaba que había cerca de 120 millones de suscriptores a servicios de AT&T.

Verizon Communications Inc. es una compañía global de banda ancha con sede en Nueva York que fue fundada en 1983 como Bell Atlantic y que surgió como parte de la desintegración en 1984 de AT&T³⁷. Verizon, que comenzó a ofertar servicios 3G en 2007, tiene actualmente más de 140 millones de suscriptores.

³⁶ AWS (*Advanced Wireless Services*) es una banda del espectro radioeléctrico utilizada para servicios móviles de voz, datos, vídeo y mensajería. AWS se utiliza en los Estados Unidos, Argentina, Canadá, Colombia, México, Chile, Paraguay, Perú y Uruguay.

³⁷ En enero de 1982 se resolvió una demanda de antimonopolio por parte del Departamento de Justicia de los Estados Unidos hacia AT&T que había comenzado en 1974. Bajo este acuerdo, AT&T se separaría de sus compañías de servicios operativos locales. A cambio, se le permitió a AT&T entrar en el negocio de los computadores. Aunque el Departamento de la Defensa de los Estados Unidos no quería que AT&T

Tabla 20. Operadores de redes móviles en los Estados Unidos.

Operadores	Características
AT&T	Tecnología GSM, GPRS, EDGE, 3G, HSPA y LTE Banda 800-850 MHz y 1900 MHz Área de operaciones nacional
Verizon Wireless	Tecnología CDMA2000, EV-DO y LTE Banda 800-850 MHz y 1900 MHz Área de operaciones nacional
T-Mobile	Tecnología GSM, GPRS, EDGE, 3G-UMTS, HSPA y HSPA+ Banda 1900 MHz Área de operaciones nacional
Sprint	Tecnología CDMA2000, EV-DO, iDEN, LTE y Mobile WiMAX 800-900 MHz y 1900 MHz Área de operaciones nacional
US Cellular	Tecnología CDMA2000, EV-DO y LTE Banda 800 y 1900 MHz 26 estados

2.2.10.3. Japón

El mercado japonés de la telefonía móvil está dominado por tres operadoras: NTT DoCoMo, KDDI y Softbank. NTT DoCoMo tiene la red más grande y usa tecnología WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*), KDDI posee también una gran red y opera en CDMA2000 y EV-DO. NTT DoCoMo fue la primera compañía del mundo en lanzar, en octubre de 2002, un servicio 3G con aplicaciones Rich Media, el FOMA (*Freedom of Mobile Multimedia Access*), que estaba basado en tecnología WCDMA y que tuvo un éxito arrollador aumentando rápidamente su número de usuarios hasta alcanzar los 45 millones en 2009.

Japón fue también el país pionero en implementar una red con características 3GPP que lanzó la compañía Jphone, hoy parte de Softbank. En el año 2002, Softbank se convirtió en el distribuidor exclusivo para Japón del iPhone 3G, lo que contribuyó a una rápida expansión de su red 3G. Softbank también desarrolló un sintonizador Wi-Fi para iPhones que permitía la recepción de televisión digital en movilidad. A finales de 2009,

fuera dividida, el 1 de enero de 1984 los servicios locales de AT&T fueron separados en siete Compañías Operativas Regionales Bell independientes unas de otras conocidas como "*Baby Bells*".

Japón tenía más de 100 millones de suscriptores a servicios de telefonía móvil, de los cuales más del 80% usaban servicios 3G.

Foto 7. Tienda de NTT DoCoMo en Tokio anunciando el sistema FOMA.



Japón ya había sido pionero también en la introducción de Internet en la telefonía móvil con el servicio i-mode que NTT DoCoMo lanzó en 1999. El servicio i-mode, que se beneficiaba de la tecnología WAP, permitía a los usuarios acceder a Internet mediante un botón en su dispositivo que les dirigía a una serie de menús predeterminados desde los que podían consultar su *email*, hacer compras, descargar música o comprar billetes para viajar. El sistema i-mode es el predecesor de FOMA y a mediados de 2004 contaba con 44 millones de usuarios.

2.2.10.4. Corea del Sur

Corea del Sur no es un mercado muy grande, pero merece una mención debido a que son uno de los mayores fabricantes de teléfonos del mundo y a que es un país pionero en ofertar servicios multimedia novedosos. Corea del Sur tiene tres operadoras principales: SKT, KTF y LG Telecom. Cuando los servicios de telefonía móvil en Asia estaban comenzando, alrededor de 1993, SKT ya tenía más de 20 millones de suscriptores. SKT y KTF ofertan servicios basados mayoritariamente en el sistema CDMA (*Code Division Multiple Access*). En octubre de 2000, SKT se convirtió en el segundo operador del mundo, tras NTT DoCoMo, en lanzar servicios comerciales 3G usando la tecnología WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*).

2.2.10.5. China

China tiene tres operadoras que dominan su mercado: China Unicom (fusionada con China Netcom), China Mobile y China Telecom. Las tres compañías proporcionan servicios de telefonía fija y móvil, además de 3G. China Telecom emplea tecnología CDMA (*Code Division Multiple Access*), mientras que China Mobile proporciona servicios basados en GSM (*Global System for Mobile communications*) y GPRS (*General Packet Radio Service*). Por su parte, China Unicom utiliza indistintamente tecnología GSM y CDMA. Respecto a los servicios 3G, China Unicom utiliza WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*), China Mobile TS-SCDMA (*Time Division Synchronous Code Division Multiple Access*, estándar desarrollado por la Academia China de Tecnología de Telecomunicaciones) y China Telecom CDMA2000.

2.2.10.6. La India

La India es uno de los mercados de telefonía móvil que más crece del mundo, con más de 400 millones de suscriptores a finales de 2009. Los servicios de telefonía móvil comenzaron en la India en 1995 entre fuertes polémicas relacionadas con la adjudicación de licencias a las operadoras. Las licencias GSM (*Global System for Mobile communications*) fueron repartidas entre varias operadoras entre las que estaban las estatales BSNL y MTNL, que operaban en la banda de 1800 MHz. También se repartieron licencias CDMA (*Code Division Multiple Access*), que originalmente eran para servicios *wireless* fijos, pero que posteriormente pudieron desarrollarse en servicios de telefonía móvil completos. A partir de 2008, los operadores de CDMA pudieron ocupar la banda GSM y proporcionar más servicios. El proceso de licencias se abrió para otros operadores y actualmente se pueden encontrar más de diez compañías ofreciendo sus servicios en algunas ciudades de la India.

El mercado indio está claramente dominado por las tecnologías basadas en GSM frente a las basadas en CDMA. Los mayores operadores de la India son: Bharti, Vodafone, BSNL e Idea. Ofrecen servicios GPRS (*General Packet Radio Service*), EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*) y CDMA2000. En el año 2010, el Ministerio de Comunicaciones y Tecnología de la Información subastó el espectro radioeléctrico 3G y 4G en una licitación muy competitiva que ganó el conglomerado indio-japonés

Tata DoCoMo, que se convirtió así en el primer operador privado en lanzar servicios 3G en la India.

2.2.10.7. España

La tecnología móvil en España tiene su origen en 1976, año en que se lanzó al mercado un servicio de telefonía móvil para vehículos limitado a Madrid y Barcelona. En 1995, dada la inferioridad tecnológica del servicio analógico respecto al digital que proporcionaba el sistema GSM (*Global System for Mobile communications*), se creó la primera red digital móvil a la que se llamó Movistar (Telefónica-Móviles). Posteriormente, se concedieron licencias para una segunda operadora móvil llamada Airtel (actualmente Vodafone). En 1999, se crea una tercera operadora llamada Amena (actualmente Orange).

En el año 2000 comienzan los cierres de las redes analógicas y la asignación de licencias para la tecnología 3G, a la que años más tarde seguiría la tecnología 3,5G. Ese mismo año, se concede licencia a la cuarta operadora llamada Xfera (actualmente Yoigo), aunque no empieza a operar hasta 2006.

Actualmente, en España conviven la tecnología 2G, 3G, 3,5G y 4G (LTE) y, aunque 3,5G y 4G sean superiores tecnológicamente, las compañías utilizan una red dual para ofrecer una mayor cobertura (en ausencia de cobertura 3G o 4G puede que haya cobertura 2G) y maximizar la duración de la batería de sus móviles.

Según los datos ofrecidos por la Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones de España correspondientes al año 2009, se puede apreciar que el número de estaciones base GSM es considerablemente mayor que el de estaciones 3G/UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*).

A lo largo del año 2013, las cuatro grandes compañías españolas (Movistar, Vodafone, Orange y Yoigo) han implementado las primeras redes 4G (LTE) en las principales ciudades. En mayo de 2013, se inició una "guerra" entre Yoigo y Orange para ver quién lanzaba más rápido la primera red 4G, pero la gran sorpresa la dio Vodafone que implementó el servicio 4G en siete grandes ciudades (Madrid, Barcelona, Valencia, Bilbao, Sevilla, Málaga y Palma de Mallorca) en junio de ese mismo año, siendo así la

primera operadora en ofrecer 4G a una velocidad de 150 Mbps en España.

2.3. EL STREAMING Y LA MULTIMEDIA EN MOVILIDAD

El término multimedia se utiliza para referirse a cualquier objeto o sistema que utiliza múltiples medios de expresión físicos o digitales para presentar o comunicar información. Los medios pueden ser variados, desde texto e imágenes hasta animación, sonido, vídeo, etc. Toda la multimedia puede ser transportada a un entorno en movilidad.

2.3.1. Multimedia en Movilidad

Para poder recibir multimedia en un dispositivo móvil, se deben tener en cuenta las tecnologías empleadas por los entornos multimedia, los formatos y tipos de archivo multimedia, los protocolos de transporte de las redes multimedia y los procedimientos de transporte de los contenidos multimedia.

A continuación, se exponen las características que diferencian a los dispositivos móviles de los fijos.

2.3.1.1. 3GPP

Existen cientos de millones de dispositivos móviles en circulación capaces de soportar multimedia, y el entorno de la movilidad hoy en día está dominado por las redes GSM (*Global System for Mobile communications*), CDMA (*Code Division Multiple Access*) y 3G. Debido a esto, la mayoría de formatos actuales para multimedia en movilidad están definidos por el 3GPP (Third Generation Partnership Project) o el 3GPP2.

2.3.1.2. Codificación de audio y vídeo

Los dispositivos móviles se caracterizan por sus pequeñas pantallas, su escasa capacidad de procesamiento y su limitada memoria. Esto conlleva la necesidad de procesos de codificación y decodificación de audio y vídeo muy complejos que se suelen definir como subestándares de los sistemas de alta resolución que emplean los equipos fijos.

Las limitadas capacidades de los dispositivos móviles han llevado a la definición de estándares de codificación como MPEG-4, diseñado para poder ser empleado por varios

tipos de dispositivos distintos. También se han creado formatos de vídeo específicos para ser empleados por sistemas que funcionen en los distintos tipos de redes: GSM y 3G (UMTS o CDMA).

2.3.1.3. Tamaños de pantallas y resoluciones

Una de las características de los dispositivos móviles son sus pequeñas pantallas: CIF (352x288), QVGA (320x240) o QCIF (176x144), que son mucho menores que las resoluciones empleadas en los dispositivos fijos como SVGA (1024x768) o XGA (640x480). La tasa de *frames* en la transmisión de vídeo a dispositivos en movilidad también puede ser de 25 o 30 fps, según se trabaje en sistema PAL o NTSC, o menor, de hasta 15 fps. Todo esto proporciona múltiples opciones a los proveedores de servicios a la hora de difundir televisión en movilidad.

2.3.1.4. Formatos de archivos

Existen ciertos formatos de vídeo, música y voz que tienen una presencia más preponderante en el sector de la multimedia. Estos pueden ser formatos de compresión como los omnipresentes MPEG-4, MP3 o AAC, o formatos sin comprimir. Los distintos formatos de archivo están sujetos a la estandarización por comités como el 3GPP y el 3GPP2, que se encargan de garantizar su universalidad.

El vídeo en un entorno de radiodifusión no puede limitarse sólo a la información visual, sino que además debe de contener metadatos que informen del tipo de archivo y las propiedades del mismo. Esto requiere del empleo de formatos de archivo contenedor capaces de transportar toda la información junta, como el formato ISO³⁸.

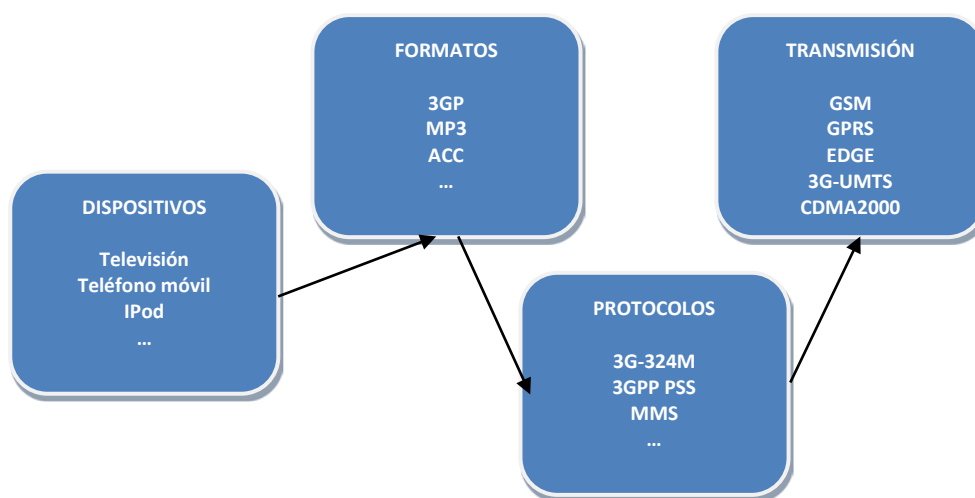
2.3.1.5. Transmisión

La transmisión de contenidos a dispositivos móviles implica el empleo de un entorno sin cables, por lo que se requiere utilizar alguna de las redes de telefonía móvil como GSM, GPRS, CDMA, CDMA2000, 3G, EV-DO o HSPA. La difusión de señales en un entorno en movilidad conlleva muchas dificultades relacionadas con la robustez de esa señal y los posibles errores que se puedan dar debido al desplazamiento del receptor dentro del área de cobertura. Debido a esto, se emplean protocolos de transmisión

³⁸ Una imagen ISO es un archivo donde se almacena una copia o imagen exacta de un sistema de ficheros, normalmente un disco compacto, un disco óptico como un CD o un DVD, pero también soportes USB. Se rige por el estándar ISO 9660 que le da nombre.

diseñados para recuperar los posibles datos perdidos y poder entregar archivos libres de errores. Sin embargo, cuando se habla de difusión en tiempo real de vídeo o música en *streaming*, la necesidad de mantener una tasa de transmisión de datos estable cobra una importancia crítica. Por ello, se han desarrollado distintas técnicas para garantizar una tasa de transmisión de datos estable como el *buffering*³⁹, el algoritmo de programación en WiMAX o la reasignación automática de recursos. Todo esto proporciona un amplio abanico de posibilidades de transmisión para los operadores de señal.

Figura 27. Esquema de los elementos de la multimedia en movilidad en el entorno de la telefonía móvil.



2.3.1.6. Servicios y protocolos de transferencia

La transferencia de información multimedia conlleva una serie de pasos. Estos incluyen el establecer una conexión, seleccionar el servicio (voz, vídeo, navegación, etc.), gestionar los parámetros (formatos, resolución, tasas de transmisión para el *streaming*, etc.) y cortar la conexión una vez terminada la transferencia de datos. 3GPP, por ejemplo, define servicios como la videollamada así: 64 kbps *circuit-switched* (3G-324M).

2.3.1.7. Animaciones y gráficos

Otro aspecto de la multimedia en un entorno de movilidad se refiere a la transferencia de aplicaciones del entorno fijo al móvil. Estas aplicaciones incluyen servidores de

³⁹ En informática, un *búfer* (del inglés, *buffer*) es un espacio de memoria en el que se almacenan datos de manera temporal, normalmente para un único uso. La misión principal del *búfer* es evitar que el programa o recurso que los requiere, ya sea *hardware* o *software*, se quede sin datos durante una transferencia (entrada/salida) de datos irregular o por la velocidad del proceso.

streaming, reproductores y navegadores. Los videojuegos y las aplicaciones de animación también deben de ser adaptadas a las capacidades de los dispositivos móviles. Es muy común el empleo de distintos perfiles de la misma aplicación según nos encontremos en un entorno fijo o en movilidad.

Figura 28. Ejemplo de la adaptación de *software* para entornos en movilidad.



Por norma general, los estándares multimedia para entornos en movilidad prescriben el uso de un limitado tipo de formatos de codificación y decodificación, aplicaciones gráficas y *software* de animación.

2.3.2. Dispositivos móviles y acceso a contenidos multimedia

Un dispositivo móvil puede acceder a contenido multimedia de cuatro formas:

- La primera es conectándose a una red de telefonía que proporcione servicios de contenido multimedia. Este tipo de conexiones se realizan mediante redes 3G, EDGE o GPRS, y suelen emplearse para servicios de videollamada mediante los procedimientos y protocolos especificados por organismos como 3GPP.
- El segundo método consiste en conectarse a Internet. Se pueden emplear las mismas redes 3G, EDGE o GPRS del operador, o medios de conexión «externos» como Wi-Fi, WiMAX o Bluetooth⁴⁰.

⁴⁰ Bluetooth es una especificación industrial para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN) que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda de los 2,4 GHz. Sirve para facilitar las comunicaciones entre equipos móviles, eliminar los cables y conectores entre éstos, ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre equipos personales. Los dispositivos que con mayor frecuencia utilizan esta tecnología pertenecen a sectores de las telecomunicaciones y la informática personal, como PDAs, teléfonos móviles, ordenadores personales, impresoras o cámaras digitales.

- El tercer modo es que el dispositivo se encuentre en el área de cobertura de una señal terrestre de televisión en movilidad o multimedia, y que cuente con un sintonizador.
- Por último, las redes WiMAX o las nuevas redes 4G como LTE pueden transportar contenido multimedia en modo *unicast* o *multicast* indistintamente.

2.3.2.1. Internet móvil y .mobi

Cada día es más común el uso de dispositivos móviles para acceder a Internet, pero no existe una Internet diferenciada con contenidos adaptados para dispositivos móviles. Han existido iniciativas para diseñar sitios web basados en WAP (*Wireless Application Protocol*), pero no han prosperado. Los navegadores actuales pueden convertir contenidos diseñados para dispositivos fijos en adecuados para dispositivos móviles sin problemas. Sin embargo, sí que existe un dominio de Internet disponible y adaptado para los dispositivos móviles, el .mobi.

El .mobi es un dominio de Internet de nivel superior aprobado por el ICANN (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers) como un dominio patrocinado. Está pensado exclusivamente para dispositivos móviles y páginas web de servicios para dispositivos móviles a las que sólo se puede acceder mediante estos mismos dispositivos. Está patrocinado por un conjunto de compañías que incluyen a Google, Microsoft, Nokia, Samsung, Ericsson, Vodafone, T-Mobile, Telefónica Móviles, Telecom Italia Mobile, Orascom Telecom, GSM Association, Hutchison Whampoa, Syniverse Technologies y VISA.

A diferencia del TLD (*Top Level Domain*) .tel, que se dirige a facilitar el contacto con la persona o empresa propietaria del dominio, .mobi tiene la finalidad de dar visibilidad a la versión web móvil del dominio.

El desarrollo de los dominios .mobi debe cumplir una serie de estándares básicos como disponer del perfil móvil XHTML-MP (WAP 2.0), no utilizar *frames*, configurar el servidor para que responda al dominio de segundo nivel (respuesta sin necesidad de "www") y, además, se recomienda adaptar el contenido, en especial las imágenes, a las características del terminal. De esta forma, se garantiza que las páginas WAP (*Wireless*

Application Protocol) desarrolladas se puedan ver perfectamente en pantallas pequeñas y sin problemas de códigos.

2.3.3. Formatos de archivos para multimedia en movilidad

Sin la armonización que los procesos de estandarización regulan, el desarrollo de la multimedia en movilidad sería imposible. Operadores, fabricantes de equipos, vendedores de dispositivos y grupos de estandarización están implicados en la estandarización de los formatos de archivo, las transmisiones y los protocolos de transferencia de datos para conseguir una mejor armonización del entorno en movilidad.

2.3.3.1. Estándares 3GPP

El 3GPP (Third Generation Partnership Project) engloba a varios grupos de estandarización que están tratando de armonizar los servicios de la telefonía móvil 3G y LTE (3G *Long Term Evolution*). 3GPP se refiere en concreto a las redes 3G evolucionadas de la tecnología GSM (*Global System for Mobile communications*) como 3G-UMTS. Otras tecnologías de transferencia de datos de alta velocidad como HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*), HSUPA (*High-Speed Uplink Packet Access*) y LTE también son resultado de los esfuerzos de 3GPP. Las distintas versiones de 3GPP contemplan estándares para la codificación y decodificación de audio, vídeo, música, gráficos, datos, así como procedimientos de control de las comunicaciones.

El 3GPP2 (Third Generation Partnership Project 2) fue creado para proporcionar estandarización a las tecnologías evolucionadas de las redes móviles CDMA (*Code Division Multiple Access*) y sus sucesores como CDMA2000 y EV-DO (*Evolution-Data Optimized*).

2.3.3.2. Redes móviles 3GPP

Los servicios que se pueden proporcionar mediante las redes 3G han sido definidos progresivamente por los diferentes lanzamientos de versiones de 3GPP, que contemplan en cada ocasión el aumento de las capacidades de las redes y, consecuentemente, los tipos de conexiones que se pueden establecer y los servicios que se pueden proporcionar. Las directrices 3GPP abarcan todo el proceso de transmisión multimedia, desde el establecimiento de llamada a los protocolos de transmisión, acabando con el

corte de la comunicación.

Los estándares del proyecto 3GPP se estructuran como versiones o *releases*. La primera versión que se refirió a las redes 3G fue lanzada en 1999. A continuación, se repasan algunas de las características y avances más relevantes del 3GPP.

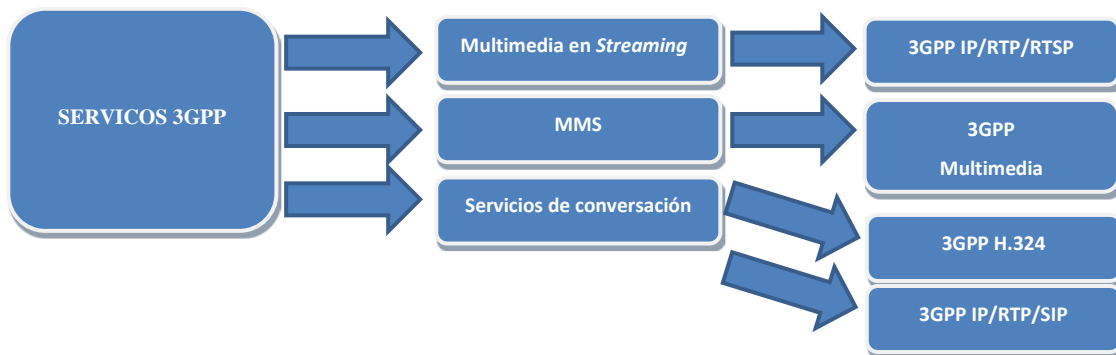
- 3GPP *release* 1999 adoptó el sistema UTRA (*Universal Terrestrial Radio Access*) que emplea la tecnología WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) y puede funcionar en TDD (*Time-Division Multiplexing*) y FDD (*Frequency-Division Multiplexing*). 3GPP *release* 1999 también incorporó el formato de compresión de audio optimizado para voz AMR (*Adaptive Multi-Rate*).
- 3GPP *release* 4 (2001) añadía características como una red de núcleo «all-IP», lo que le confería las siguientes características: RTF⁴¹ (*Rich Text Formatting*) y MMS (*Multimedia Messaging Service*), arquitectura de red *circuit-switched*, IP *Streaming*, e interfaz para redes GPRS (*General Packet Radio Service*) y EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*).
- 3GPP *release* 5 (2002) introdujo las especificaciones de red IMS (*IP Multimedia System*) y VoIP (*Voice Over Internet Protocol*) gracias al protocolo SIP (*Session Initiation Protocol*). La versión 5 también introdujo la tecnología HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*), que supuso un gran paso de cara a los servicios de televisión digital en movilidad *unicast* bajo redes 3G. Las innovaciones IMS de la versión 5 de 3GPP permitieron superar la arquitectura *circuit-switched* de versiones anteriores mejorando la integración de la mensajería instantánea y los servicios de conversación en tiempo real.
- 3GPP *release* 6 (2005) introdujo los servicios MBMS (*Multimedia Broadcast Multicast Service*), además de las siguientes características: mejores *códecs* de banda ancha para una mejor calidad de sonido (AMR-WB+), servicios *Packet-Streaming* (3GPP-PPS), interfaz entre WLAN (*Wireless Local Area Network*) y UMTS (*Universal Mobile*

⁴¹ El *Rich Text Format* (formato de texto enriquecido, a menudo abreviado como RTF) es un formato de archivo informático desarrollado por Microsoft en 1987 para el intercambio de documentos multiplataforma. La mayoría de los procesadores de texto pueden leer y escribir documentos RTF.

Telecommunications System), y servicios de DRM (*Digital Rights Management*).

Hay que destacar que uno de los mayores retos de estandarización, tanto para el 3GPP como el 3GPP2, ha sido la migración del sistema de *circuit-switched* de las redes GSM (*Global System for Mobile communications*) y CDMA (*Code Division Multiple Access*) al sistema *packet-switched*. 3GPP emplea una arquitectura IMS (*IP Multimedia System*) y 3GPP2 usa MMD (*Multimedia Domain*).

Figura 29. Servicios y estándares 3GPP.



2.3.4. Formatos de multimedia en movilidad 3GPP

Las características de los distintos formatos de multimedia en movilidad tienen relación directa con los avances en las tecnologías de transmisión de datos, y son tenidas en cuenta por los lanzamientos de las distintas versiones de 3GPP. Por ejemplo, en el año 2006, el archivo de una fotografía tomada con una cámara de dos megapíxeles pesaría unos dos megabytes si se cuentan 24 bits por píxel. Transmitir una imagen así por MMS no resultó práctico hasta la aparición de las redes HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*), que eran capaces de proporcionar una tasa de transmisión de datos de 1,8 Mbps en aquel entonces. La versión 5 de 3GPP (*3GPP release 5*) fue la primera en contemplar el uso de la tecnología HSDPA, aunque hubo que esperar hasta 2006 para que los dispositivos móviles incorporaran la tecnología HSDPA.

2.3.4.1. El streaming en movilidad

El *streaming* de vídeo en MP4 y audio en MP3 son servicios muy comunes en los dispositivos fijos que rápidamente se adaptaron al entorno en movilidad mediante el empleo de protocolos RTSP (*Real Time Streaming Protocol*). Sin embargo, en el

entorno en movilidad, las conexiones no eran lo suficientemente sólidas para el *streaming* continuo, lo que llevó a la creación de la tecnología PSS (*Packet-Switched Streaming*), que permitía a los creadores multimedia publicar sus piezas como archivos descargables en lugar de tener que transmitirlos en tiempo real. La tecnología PSS fue incorporada en la versión 6 de 3GPP (3GPP *release* 6) y constituyó la base de la conectividad basada en paquetes IP para redes HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*). Los actuales servicios de vídeo compartido (Youtube) e imágenes compartidas (Flickr) son posibles gracias a la conectividad IP y a la capacidad de transmitir grandes archivos de datos.

2.3.4.2. Sistema Multimedia IP (IMS)

IMS (*IP Multimedia System*), que fue introducido por la versión 5 de 3GPP (3GPP *release* 5), es una arquitectura de red que soporta el tráfico de voz, datos y multimedia mediante la conmutación de paquetes a direcciones IP, y lo hace con independencia del medio de acceso: teléfonos móviles, fijos, ordenadores personales y todo dispositivo que pueda tener una dirección IP en la red. Sólo requiere que los equipos utilicen el protocolo de sesión SIP (*Session Initiation Protocol*), que permite la señalización y administración de sesiones. IMS constituye uno de los desarrollos tecnológicos más importantes de 3GPP, ya que permite la convergencia de dispositivos fijos y móviles mediante cualquier tipo de red que emplee el protocolo IP.

El entorno en movilidad actual requiere que los usuarios estén constantemente conectados a las redes, incluso aunque la actividad sea escasa, por lo que establecer y cortar conexiones se ha convertido en un proceso que consume muchos recursos. Al mismo tiempo, incluso en estado de reposo, los usuarios esperan que sus aplicaciones respondan rápidamente al ser reactivadas. Con un número de usuarios de redes UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) y HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) que no cesa de crecer, se hizo necesario el implementar una nueva tecnología llamada CPC (*Continuous Packet Connectivity*), que fue incorporada por la versión 7 de 3GPP (3GPP *release* 7).

Otra característica de los dispositivos móviles actuales es su gran capacidad de almacenaje; algunos *smartphones* pueden llegar a soportar 64 gigabytes de información

y los Ipods suelen tener más de 160 gigabytes de capacidad, por citar dos ejemplos. La versión 7 de 3GPP (3GPP *release 7*) aporta una nueva forma de gestionar los grandes archivos multimedia al incluir un protocolo para conexiones de alta velocidad basado en la tecnología USB (*Universal Serial Bus*).

2.3.4.3. Archivos 3GPP

3GPP (UMTS-WCDMA) ha definido como estándar de formato de archivo aquel que contenga secuencias audiovisuales que puedan ser descargadas en un dispositivo móvil y reproducidas con uniformidad sin importar el país en el que se halle el usuario, el tipo de dispositivo, la operadora de señal o la red. 3GPP2 (CDMA) ha definido su estándar de formato de archivo del mismo modo. Para cumplir estos requisitos, es necesario que los archivos se adapten al formato ISO, que incluye metadatos con las especificaciones técnicas del archivo.

Los archivos multimedia generados por los codificadores solían basarse en los estándares de codificación MPEG-4 y H.263 para las versiones tempranas de 3GPP. Los archivos empleados por las redes GSM, 2.5G y 3G (WCDMA) se denotan con la extensión .3gp y están basados en MPEG-4 para el vídeo y AAC y AMR para el audio. Los archivos empleados por las redes evolucionadas de CDMA (CDMA2000, CDMA 1x y 3x) se denotan con la extensión .3g2 y se basan en los mismos *códecs* MPEG-4, AAC y AMR, además de QCELP (*códec* de la empresa Qualcomm).

MPEG-4 es un estándar de codificación digital de audio y vídeo introducido por primera vez a finales de 1998. La mayoría de las características incluidas en MPEG-4 se dejan a la voluntad del desarrollador que decide si implementarlas o no. Esto significa que, probablemente, no haya implementaciones completas de todo el conjunto de normas MPEG-4. Para hacer frente a esto, la norma incluye el concepto de "perfiles" y "niveles", lo que permite un conjunto específico de capacidades para definir de una manera apropiada un subconjunto de las aplicaciones. MPEG-4 puede emplearse con tasas de transmisión de datos muy bajas y, al mismo tiempo, mantener la flexibilidad de aumentar la tasa de transmisión de datos mediante sus «capas de realce» pudiendo alcanzar resoluciones de alta definición (HD). Es también un *códec* perfecto para la gestión de animaciones y gráficos generados por ordenador, así como muchas otras

aplicaciones. Uno de sus perfiles más empleados es el MPEG-4 *part 10*, también conocido como ITU H.264.

Debido a la complejidad de estándares como MPEG-4, con todos sus perfiles y niveles, 3GPP se ha visto obligado a definir las especificaciones de los codificadores y decodificadores que funcionen bajo las redes 3G.

Tabla 21. Formato de archivo 3GPP para redes 3G-324M.

Característica	Especificación
<i>Códec</i> de vídeo	MPEG-4 <i>Simple Profile level 1</i>
Tasa de <i>frames</i>	Hasta 15 fps
Resolución	176x144
<i>Códec</i> de audio	AMR

La estandarización se vuelve necesaria para poder controlar la complejidad de los codificadores y decodificadores empleados por los dispositivos móviles. Por ejemplo, para servicios 3G-324M con sistema *circuit-switched*, MPEG-4 *Simple Profile* permite tres niveles de compresión con 64 kbps para el nivel 1 y 384 kbps para el nivel 3. MPEG-4 *Simple Profile level 1* incorpora también un sistema de resistencia a los errores para redes inalámbricas que es de poca complejidad y puede soportar pequeños retardos en la señal. MPEG-4 *Simple Profile level 1* soporta, además, las especificaciones del estándar H.263 de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones).

Las conexiones de conversación en 3G-324M suelen emplear protocolos H.263. 3GPP se encarga de especificar qué características y parámetros deben soportar los *códecs* que se engloban bajo H.263.

MPEG-4/AVC/H.264 o MPEG-4 parte 10, con todos sus perfiles, fue recomendado como estándar por la versión 6 de 3GPP (3GPP *release 6*) y es, a día de hoy, uno de los *códecs* más empleados en redes móviles.

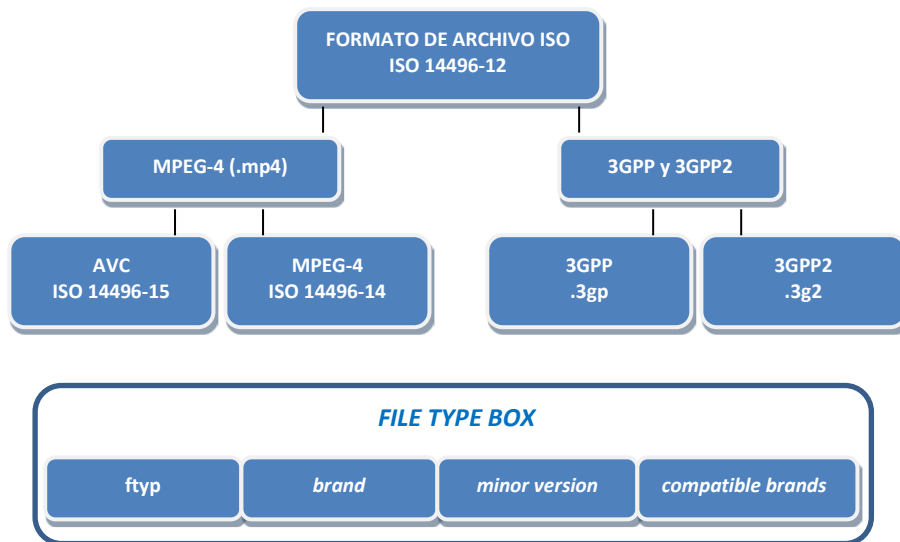
2.3.4.4. Archivos ISO

Los archivos 3GPP (.3gp) se basan en el formato de archivos ISO, que es el estándar principal de los archivos MPEG-4. Los formatos ISO/IEC han sido definidos por el ISO Moving Picture Expert Group y están inspirados por los archivos del formato

QuickTime. Los formatos .3gp y .3g2, ambos basados en ISO, también incorporan sistemas para soportar *códecs* no basados en ISO como H.263, AMR, AMR-WB, y QCELP.

El formato de archivo ISO es, en esencia, un contenedor en el que el multimedia, los metadatos y la información son transportados en un formato aceptado en todo el mundo. Para ello, los archivos multimedia basados en ISO se sirven de unas «marcas» que se incluyen en la llamada «*File Type Box*» o «ftyp» que precede al resto de información del archivo. Las «marcas» indican el tipo de codificación que se ha utilizado, cómo se han almacenado los datos de cada codificación, las posibles limitaciones y extensiones que se aplican al archivo, la compatibilidad y el uso previsto del archivo. Las «marcas» son códigos de cuatro caracteres. Un «*File Type Box*» contiene dos tipos de «marcas» o *brands*: La primera de ellas es la *major brand*, que indica las especificaciones y el mejor uso para el archivo, a la que le sigue la *minor version*, una versión menor de la marca principal en 4 bytes de información. El segundo tipo de marca se llama "*compatible brands*", que identifica las múltiples especificaciones del archivo y sus posibles formatos y compatibilidades.

Figura 30. Esquema del formato de archivo MPEG en ISO.



2.3.5. Vídeo en Internet

El vídeo en Internet, también llamado «Internet TV», es el vídeo, junto con su audio

asociado, que está disponible y puede verse en Internet introduciendo una dirección URL ⁴² en un navegador y abriendo una página web mediante HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*). El vídeo en Internet también puede ser visionado desde un servidor *streaming* usando el protocolo RTSP (*Real Time Streaming Protocol*) o mediante el empleo de un reproductor multimedia que use RTSP. Además, se puede recurrir a formatos propietarios como Windows Media Player, Flash Player, Real Player o QuickTime, entre otros. Por último, existe la posibilidad de descargar el vídeo, pero el tiempo requerido dependerá del tamaño del archivo. Los archivos pueden descargarse por cualquier tipo de dispositivo que se conecte a Internet.

La mayoría de los formatos de vídeo y resoluciones que se encuentra en Internet dependen del sitio web en que se emplazan, como por ejemplo Youtube.

Los vídeos subidos a sitios web suelen variar en resolución dependiendo de la fuente original, que puede haber sido desde un teléfono móvil con una cámara VGA a una cámara de 5 megapíxeles o incluso alta definición. Normalmente, los archivos de vídeo son reconvertidos a un formato de archivo común con una resolución estándar para facilitar un acceso universal. Algunas de las resoluciones más comunes empleadas por los sitios web son QVGA (320x240) o QCIF (176x144).

El vídeo en Internet no contempla sistemas de control de calidad del servicio (QoS), tecnologías de corrección de errores o encriptación para proteger los derechos de autor. Se podría decir que no existe un modelo de negocio específico para el vídeo en Internet como el que pueda existir para las operadoras de televisión digital en movilidad.

2.3.5.1. YouTube

YouTube es un sitio web en el que los usuarios pueden subir y compartir vídeos. Fue creado en febrero de 2005 y en octubre de 2006 fue adquirido por Google. Actualmente, es el sitio web de su tipo más utilizado en Internet. Youtube admite vídeo en los formatos Windows Media (.wmv), Audio and Video Interleaved (.avi), QuickTime (.mov), MPEG (.mpg) y 3GPP (.3gp). Los usuarios pueden descargar vídeos de

⁴² Un Localizador de Recursos Uniforme o URL (*Uniform Resource Locator*) es un Identificador de Recursos Uniforme (URI) cuyos recursos referidos pueden cambiar, esto es, la dirección puede apuntar a recursos variables en el tiempo. Está formado por una secuencia de caracteres de acuerdo a un formato modélico y estándar que designa recursos en una red como Internet. Las URL sirven para permitir a los autores de documentos establecer hiperenlaces en la World Wide Web.

Youtube en varios formatos y calidades. Youtube además incorpora un reproductor Flash Video (.flv).

2.3.5.2. Google Video

Google Video fue un servicio de Google que, hasta enero de 2009, permitía subir *clips* de vídeo a sus servidores para que cualquier persona los pudiera buscar y ver directamente desde su navegador. Inicialmente nació como competencia de YouTube, hasta que Google lo compró el 10 de octubre de 2006. Finalmente, Google Video pasó a funcionar como un mero buscador de vídeos en la red quedando YouTube como el único servicio que permite la subida de vídeos. El servicio de Google Video estuvo disponible hasta el 13 de mayo de 2011.

Google Video podía ser descargado en tres formatos: .avi, .mp4 y .gvi. También ofrecía la posibilidad de *streaming* en .gvi. Los archivos descargados podían ser reproducidos por el Google Video Player que era gratuito o por DivX Player para los archivos .mp4. En algunos casos, Google Video también soportaba Flash Video.

2.3.5.3. Apple HTTP Live Streaming

HTTP Live Streaming, también conocido como HLS, es un protocolo de comunicación multimedia en *streaming* basado en HTTP desarrollado por Apple para superar los problemas derivados de las tasas de transmisión de datos variables cuando se enviaba vídeo en *streaming* bajo protocolos RTSP a sus dispositivos móviles como iPhone.

Apple HTTP Live Streaming divide el flujo de datos de vídeo en segmentos de unos diez segundos y los empaqueta en formato MPEG. Estos segmentos son recibidos por el reproductor HTTP del dispositivo móvil (iPhone) que comienza a reproducirlos una vez ha recibido tres o cuatro segmentos y continúa recibiendo el resto durante la reproducción. No existen restricciones de contenido y el reproductor puede elegir qué tipo de flujo de vídeo (*stream*) es el más adecuado según el ancho de banda disponible.

2.3.6. Flash Lite

Flash Video (FLV) es un formato contenedor propietario usado para transmitir vídeo por Internet usando Adobe Flash Player (anteriormente conocido como Macromedia Flash Player). Flash Video está masivamente extendido en el mundo. Entre los sitios

más notables que utilizan el formato FLV se encuentran: YouTube, Google Video, Reuters.com, Yahoo! Video y MySpace. Flash Video puede ser visto en la mayoría de los sistemas operativos mediante Adobe Flash Player, un *plug-in* disponible para navegadores web, o de otros programas de terceros como MPlayer, VLC Media Player, Media Player Classic, Windows Media Player y Windows Media Center.

Flash Lite es una versión especial de Adobe Flash creada para ser usada específicamente en teléfonos móviles, tabletas y otros dispositivos similares. Hoy en día, casi todos los dispositivos móviles que se pueden adquirir en el mercado llevan incluido Flash Lite.

Los archivos FLV, hasta la versión 6, contienen un *códec* propietario llamado Sorenson. Flash Player 8 y las nuevas versiones soportan la reproducción de vídeo On2 TrueMotion VP6 (H.264). On2 VP6 puede proveer una calidad visual más alta que Sorenson, especialmente cuando se usa una tasa de transmisión de datos baja.

2.3.7. DivX móvil

DivX se refiere a un conjunto de productos de *software* desarrollados por DivX Inc. para los sistemas operativos Windows y Mac OS, siendo el más representativo el *códec* DivX, por lo que la mayoría de las personas se refieren a éste cuando hablan de DivX. Inicialmente era sólo un *códec* de vídeo comprimido basado en MPEG-4.

El auge de DivX se produjo con la llegada de las películas en CD-ROM, que se codificaban con este *códec* y llegaban a ocupar unos 700 megabytes. Esto permitía el almacenar una película en DVD en un CD-ROM, que es un formato mucho más barato. Para evitar este tipo de prácticas, se sacrificó cualquier oportunidad legal del uso del DVD como un sistema de grabación doméstico y, para ello, se introdujeron todo tipo de trabas y restricciones que no hicieron sino enturbiar el mercado y ralentizar la introducción masiva del DVD en el entorno doméstico.

DivX Mobile está actualmente disponible en todo tipo de dispositivos móviles, y puede ser descargado gratuitamente desde Internet.

2.3.8. Microsoft Silverlight

Microsoft Silverlight es una estructura para aplicaciones web que agrega nuevas funciones multimedia como la reproducción de vídeos, gráficos vectoriales, animaciones e interactividad de forma similar a como lo hace Adobe Flash.

Silverlight compite con Adobe Flash, JavaFX y OpenLaszlo. La primera versión de Silverlight fue lanzada en septiembre de 2007 y, actualmente, su versión 5.0 se distribuye de forma gratuita. Además, se lanzó una versión de Silverlight en conjunto con Novell llamada Moonlight, la cual emplea código abierto para funcionar en los sistemas operativos basados en UNIX⁴³. En mayo de 2012, Moonlight fue abandonado debido a la falta de popularidad de Silverlight.

Silverlight emplea un modo de gráficos de sistema similar al del WPF⁴⁴ (*Windows Presentation Foundation*) e integra en un sólo complemento multimedia gráficos, animaciones e interactividad. La base de su programación es en lenguaje XAML⁴⁵ (*eXtensible Application Markup Language*). Microsoft Expression Blend es la herramienta de Microsoft que se utiliza para crear las animaciones en Silverlight.

Con Silverlight es posible cargar dinámicamente un contenido XML que puede ser manipulado a través de una interfaz DOM (*Document Object Model*), una técnica que es compatible con aquellas convencionales del lenguaje AJAX⁴⁶. Silverlight tiene un "downloader" (descargador) para tomar *scripts* u otros medios y guardarlos en el equipo

⁴³ Unix (registrado oficialmente como UNIX®) es un sistema operativo portable, multitarea y multiusuario creado en 1969 por un grupo de empleados de los laboratorios Bell de AT&T.

⁴⁴ Windows Presentation Foundation (WPF) es una tecnología de Microsoft presentada como parte de Windows Vista. Permite el desarrollo de interfaces de interacción en Windows tomando características de aplicaciones de Windows y de aplicaciones web. WPF ofrece una amplia infraestructura y potencia gráfica con la que es posible desarrollar aplicaciones visualmente atractivas, con facilidades de interacción que incluyen animación, vídeo, audio, documentos, navegación o gráficos 3D.

⁴⁵ XAML (acrónimo pronunciado *xammel* del inglés *eXtensible Application Markup Language*, lenguaje extensible de formato para aplicaciones en español) es el lenguaje de formato para la interfaz de usuario para la Base de Presentación de Windows (WPF por sus siglas en inglés) y Silverlight (wpf/e). XAML es un lenguaje declarativo basado en XML optimizado para describir gráficamente interfaces de usuarios visuales ricas desde el punto de vista gráfico.

⁴⁶ AJAX (*Asynchronous JavaScript And XML*) es una técnica de desarrollo web para crear aplicaciones interactivas o RIA (*Rich Internet Applications*). Estas aplicaciones se ejecutan en el cliente, es decir, en el navegador de los usuarios mientras se mantiene la comunicación asíncrona con el servidor en segundo plano. De esta forma, es posible realizar cambios sobre las páginas sin necesidad de recargarlas, mejorando la interactividad, velocidad y usabilidad en las aplicaciones.

cuando es requerido por la aplicación. También soporta lenguajes dinámicos de programación como Ruby y Python.

2.3.9. Rich Media-SMIL (Synchronized Multimedia Integration Language)

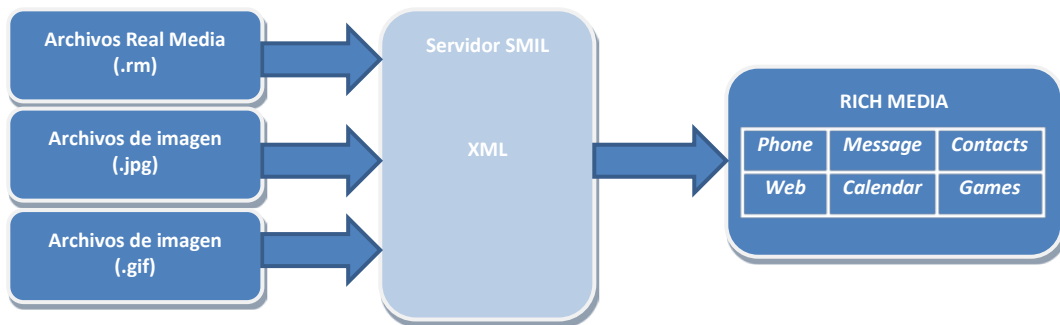
Muchas aplicaciones requieren algo más que la representación de unas cuantas imágenes, gráficos y audio, necesitan además que esos archivos multimedia estén integrados. Este tipo de sincronización, como la que hace falta entre un discurso hablado y una presentación visual, es la que requiere de Rich Media y emplea tecnologías como SMIL.

SMIL (*Synchronized Multimedia Integration Language*) es un estándar del World Wide Web Consortium (W3C) para presentaciones multimedia. El lenguaje SMIL permite integrar audio, vídeo, imágenes, texto o cualquier otro contenido multimedia. Los archivos SMIL se denotan con la extensión .smil.

La recomendación SMIL está a cargo del grupo de trabajo SYMM (Synchronized Multimedia Activity) del World Wide Web Consortium. Los objetivos de esta recomendación son: Primero definir un lenguaje basado en XML que permita a los autores crear presentaciones multimedia. Mediante SMIL, un autor puede describir el comportamiento temporal de su presentación multimedia, asociar hipervínculos a contenido multimedia y describir la disposición de la presentación en la pantalla. Segundo, facilitar la reutilización de la sintaxis y semántica de SMIL en otros lenguajes basados en XML, en particular aquellos que requieren representar sincronización y temporización. Por ejemplo, SMIL puede integrarse en XHTML (*eXtensible HyperText Markup Language*) y SVG (*Scalable Vector Graphics*).

SMIL es un estándar abierto del W3C libre de patentes.

Figura 31. Esquema de Rich Media en SMIL.



2.3.10. Difusión de contenidos multimedia en movilidad

Para poder difundir contenidos multimedia en movilidad se necesita establecer una llamada, transferir los archivos multimedia y finalizar la llamada. Luego se tienen a disposición varios métodos para transferir y reproducir los archivos multimedia, como la descarga, el *streaming* o el acceso vía HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*). Además, durante el visionado, el usuario dispone de una serie de controles como pausa, avance rápido, rebobinado o selección de escenas.

Por último, dependiendo de nuestro sistema de conexión, 3G o Wi-Fi por poner un ejemplo, el modo en que se entregarán los archivos multimedia puede diferir considerablemente.

Por todo lo anterior, un proveedor de servicios multimedia en movilidad tiene multitud de factores que ponderar si quiere llegar al máximo número de clientes posible.

2.3.10.1. Dispositivos

Cuando se habla de difusión de contenidos multimedia en movilidad, es fundamental tener en cuenta los dispositivos a los que va dirigida la difusión. Por ejemplo, en el caso de una red que siga el estándar 3GPP, se puede dirigir la comunicación a todos los dispositivos con capacidad 3G de esa red, ya que todos siguen las mismas normas y protocolos. Sin embargo, eso no sería posible con dispositivos que funcionan con tecnologías alternativas como Adobe Flash Lite, DivX, Windows Media, RealVideo o SMIL.

En dispositivos móviles, el soporte técnico para *software* como Flash, DivX, Java,

Windows Media, Real, o cualquier otro *software* o reproductor alternativo puede depender del modelo del dispositivo o del operador de la línea. Por ejemplo, el empleo de Flash Lite en Japón ha sido masivamente apoyado por NTT DoCoMo y KDD.

También se puede dar el caso de que algunos contenidos multimedia puedan ser específicos para un tipo de dispositivo, como los contenidos desarrollados en exclusiva para la videoconsola PlayStation.

2.3.10.2. Streaming en redes 3G

El *streaming* en redes 3G ha sido estandarizado por el grupo 3GPP bajo la norma 3GPP-PSS (3GPP-*Packet-switched Streaming Standard*) que define el conjunto de protocolos para el establecimiento de llamada y la transferencia de datos usando la capa IP. También especifica los formatos de archivo para audio, vídeo, gráficos, las escenas, además de las instrucciones de presentación de la información. Son las normativas como 3GPP-PSS las que dan uniformidad a las transferencias de multimedia en movilidad, incluso cuando la información debe de atravesar varios tipos de redes distintas.

Tabla 22. Conjunto de protocolos 3GPP-PSS.

IP		
UDP	TCP	UDP
RTP	HTTP	RTSP
VÍDEO Y AUDIO Vídeo: H.263 (Obligatorio) MPEG-4 (Opcional) Voz: AMR (Obligatorio) Audio: AACLC (Opcional)	GRÁFICOS Gráficos: GIF y JPEG Vector Texto: XHTML Escena: SMIL 2.0	Descripción de la presentación

2.3.10.3. Rich Media y 3GPP

Las normas de estandarización 3GPP también incluyen recomendaciones para aplicaciones Rich Media. El uso de lenguaje SMIL (*Synchronized Multimedia Integration Language*) está contemplado dentro del 3GPP-PSS por la normativa 3GPP-TS 26234.

2.3.10.4. MMS en 3GPP

La multitud de redes y dispositivos disponibles dentro del entorno 3G ha hecho necesario el definir también unas normas de estandarización para los mensajes multimedia MMS (*Multimedia Messaging Service*) que especifica el tipo de codificación y la presentación. Para ello, se han definido los siguientes niveles de interoperabilidad: contenido del mensaje, atributos y elementos de presentación, contenido multimedia y contenido de bajo nivel.

Para integrarlo todo, se utiliza el lenguaje MMS SMIL. Un documento SMIL tiene dos partes principales: cabecera (*head*) y cuerpo (*body*). La cabecera (*head*) contiene la información de disposición del contenido, las herramientas de autoría y los metadatos. El cuerpo (*body*) contiene la información de sincronización y, por lo general, se compone de combinaciones de tres variables principales: secuencial (*seq*) que indica las listas de reproducción, paralelo (*par*) que indica el modo de reproducción de las múltiples capas y exclusivo (*excl*) para conocer las interrupciones y los eventos que las activan.

Figura 32. Esquema de un documento SMIL.



SMIL se dirige a los contenidos multimedia mediante direcciones URL (*Uniform Resource Locator*), lo que permite que sean compartidos entre presentaciones y almacenados en diferentes servidores para equilibrar la carga del servicio. SMIL también puede asociar distintos contenidos multimedia con diferentes requisitos de ancho de banda.

2.3.10.5. Redes móviles con contenido 3GPP

Un ejemplo de red móvil con contenido 3GPP se podría encontrar ya en el primer servicio 3G del mundo, que fue lanzado por NTT DoCoMo en Japón en el año 2001.

Este servicio, que fue llamado FOMA (*Freedom of Multimedia Access*), permitía transmisiones de datos a 64 kbps en *circuit-switched* y de 384 kbps en *packet-switched*, además de poder simultanear tres actividades como llamadas de voz, navegación por Internet y el uso de aplicaciones. FOMA introdujo varias novedades como la posibilidad de descargar música, vídeo y después reproducirlo, la posibilidad de compartir archivos multimedia entre dispositivos, o el servicio «Visual Net», que permitía hasta a ocho usuarios conectarse simultáneamente en una misma videoconferencia; todo ello gracias a la compatibilidad que permitían los contenidos estandarizados bajo la normativa 3GPP.

2.3.10.6. Formatos para difusión en redes de televisión en movilidad

Los formatos de archivos multimedia 3G han seguido una evolución desde las redes 2.5G como GPRS (*General Packet Radio Service*) o EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*) hasta llegar a las redes 3G, y esta evolución está basada en la necesidad de conseguir cada vez menores tasas de conectividad en el lado del receptor. Las redes basadas en la difusión de contenido multimedia en *broadcast* como DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*) nunca sufrieron la necesidad de tener que emplear *códecs* que dieran tasas de transmisión de datos bajas, y solían emplear H.264 y AAC+. En cualquier caso, los teléfonos que se emplean para recibir emisiones en *broadcast* son los mismos que se utilizan en las llamadas convencionales, y el uso de los formatos 3GPP es universal.

2.3.10.7. Difusión de contenidos con Flash Lite

Los contenidos multimedia en formato Flash pueden ser difundidos a través de una web (lenguaje HTTP), mediante descarga progresiva o descarga de archivos. Adobe Flash también ha desarrollado un protocolo para la entrega de flujos multimedia entre un servidor Flash y un reproductor Flash llamado RTMP (*Real Time Messaging Protocol*). RTMP es un protocolo propietario basado en TCP (*Transmission Control Protocol*) que permite la interacción entre el servidor y el cliente.

El modo de difusión más extendido de multimedia en Flash es la descarga progresiva. La descarga progresiva, como su nombre indica, descarga progresivamente el contenido multimedia del servidor y permite la reproducción desde el inicio del proceso. El

contenido multimedia es almacenado en el lado del receptor. El usuario tiene una capacidad limitada para gestionar la reproducción, ya que no puede avanzar hacia delante o retroceder. No hay límite a la duración de los archivos multimedia. La implementación de este sistema es muy sencilla, ya que cualquier servidor puede albergar los contenidos. Lo que no hace Flash es gestionar servicios de DRM (*Digital Rights Management*).

Otro modo de difusión de Flash Video es el *streaming* empleando RTMP, en el que se establece una conexión TCP entre el FMS (*Flash Media Server*) y el reproductor del usuario. La diferencia con la descarga progresiva es que, en este caso, el vídeo no se almacena en el disco duro del usuario.

2.3.10.8. Versiones superiores de 3GPP

3GPP *release 5* definió las especificaciones para la tecnología HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) que se extendió rápidamente llegando a alcanzar más de 150 redes comerciales a finales de 2007.

3GPP *release 7* mejoró los servicios de HSDPA combinándolos con los de HSUPA (*High-Speed Uplink Packet Access*) dando lugar a HSPA+. Muchas de las innovaciones definidas por 3GPP *release 7* estaban destinadas a mejorar los servicios interactivos como la posibilidad de compartir fotografías y vídeos entre usuarios. También pretendía mejorar la calidad de los servicios de conversación en tiempo real definiendo las características para la transmisión de voz y vídeo mediante IP. Estos avances incluían, entre otros: técnicas de modulación superiores (64-QAM), CPC (*Continuous Packet Connectivity*), interfaz EDGE evolucionada y receptores mejorados. Todos estos avances eran compatibles a su vez con las versiones anteriores de 3GPP.

3GPP *release 8* define la primera versión de red LTE (*3G Long Term Evolution*) así como las redes *All-IP*. También introduce las nuevas interfaces de radio OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) y MIMO⁴⁷ (*Multiple-Input Multiple-Output*) que no serán compatibles con las redes basadas en CDMA (*Code Division Multiple Access*).

⁴⁷ Las tecnologías OFDMA y MIMO son explicadas en los capítulos 3 y 4.

Las redes evolucionadas de las tecnologías CDMA han sido sometidas a su vez a un proceso de armonización bajo las normativas del 3GPP2.

2.3.11. Animaciones y gráficos en un entorno de multimedia en movilidad

Las animaciones y los gráficos son una parte muy importante en cualquier aplicación de multimedia en movilidad. La presentación de todo tipo información (noticias, tiempo, juegos, compras, etc.) se realiza mediante animaciones y gráficos. Las tecnologías de animación y gráficos se han desarrollada a la vez que Internet y, hoy en día, sistemas como Flash y Java están universalmente extendidos.

2.3.11.1. Gráficos

Existen dos medios para representar gráficos:

El primero se denomina mapa de bits o imagen *raster* (*raster graphics*), que es una estructura o fichero de datos que representa una rejilla rectangular de píxeles o puntos de color denominada matriz que se puede visualizar en un monitor, papel u otro dispositivo de representación. Las imágenes en mapa de bits se suelen definir por su altura y anchura (en píxeles) y por su profundidad de color (en bits por píxel), que determina el número de colores distintos que se pueden almacenar en cada punto individual y, por lo tanto, en gran medida la calidad del color de la imagen. Por ejemplo, una imagen de 640x480 píxeles se define como 640x480=307 200 píxeles, cada uno con 24 bits (3 bytes) de profundidad de color, lo que nos da una imagen de 921 kilobytes. El peso de esta imagen de 921 kilobytes podría ser reducido mediante el empleo de un *códec* de compresión como JPEG, pero aun así requerirá una cantidad de espacio considerable para su almacenamiento o transmisión. Los gráficos no pueden ser escalados fácilmente ya que una imagen de 921 kilobytes, que puede resultar adecuada para una pantalla VGA, no será apropiada para una pantalla cincuenta veces mayor.

Otra alternativa serían los gráficos vectoriales. Una imagen vectorial es una imagen digital formada por objetos geométricos independientes (segmentos, polígonos, arcos, etc.), cada uno de ellos definido por distintos atributos matemáticos de forma, de posición, de color, etc. Por ejemplo, un círculo de color rojo quedaría definido por la

posición de su centro, su radio, el grosor de línea y su color. Este formato de imagen es completamente distinto al formato de las imágenes de mapa de bits que están formados por píxeles. El interés principal de los gráficos vectoriales es poder ampliar el tamaño de una imagen a voluntad sin sufrir la pérdida de calidad que sufren los mapas de bits. De la misma forma, permiten mover, estirar y retorcer imágenes de manera relativamente sencilla. Su uso también está muy extendido en la generación de imágenes en tres dimensiones, tanto dinámicas como estáticas. Los gráficos vectoriales también son empleados por las páginas web porque son muy rápidos de cargar, proporcionan una imagen muy nítida y no sufren pérdidas de resolución debido a la compresión. Existen multitud de programas que trabajan con gráficos vectoriales como: Adobe Flash, Adobe Photoshop y CorelDRAW, entre otros.

2.3.11.2. Gráficos Vectoriales Redimensionables (SVG)

Los Gráficos Vectoriales Redimensionables (del inglés *Scalable Vector Graphics* o SVG) son una especificación para describir gráficos vectoriales bidimensionales, tanto estáticos como animados (estos últimos con ayuda de SMIL), en formato XML. SVG contempla tres tipos de objetos gráficos: elementos geométricos vectoriales, mapa de bits y texto.

Los principales operadores de líneas móviles del mundo y los fabricantes de dispositivos han promovido el desarrollo de un estándar SVG para teléfonos móviles que permita a las aplicaciones que emplean estos gráficos el trabajar en todo tipo de redes y dispositivos. El *SVG mobile profile* o SVG-T (*SVG-Tiny*) se convirtió en una recomendación del W3C (World Wide Web Consortium) en 2001 y fue adoptado por el 3GPP en el año 2003.

2.3.11.3. Animaciones y aplicaciones

La mayoría del *software* actual está basado en Java y Flash. El uso de estas herramientas de programación permite generar aplicaciones que funcionan con fluidez en todo tipo de entornos, y que resultan visualmente atractivas a los usuarios gracias al empleo de animaciones. La popularidad de Flash y Java ha provocado que se generen unas versiones específicas para el entorno en movilidad.

2.3.11.4. Adobe Flash Lite

Adobe Flash Lite es una versión especial de Adobe Flash creada para ser usada específicamente en teléfonos móviles, tabletas y otros dispositivos similares. Adobe Flash Lite tiene en cuenta las pequeñas dimensiones de las pantallas, la escasa profundidad de color y las restricciones de ancho de banda de los dispositivos móviles. Las aplicaciones son diseñadas para que sean más ligeras, ocupando menos espacio en el disco duro de los dispositivos, y menos exigentes en cuanto a necesidades de procesador.

Adobe Flash Lite ha estado disponible para los dispositivos móviles desde 2003. Las aplicaciones de Flash Lite han servido para desarrollar incontables animaciones, juegos y todo tipo de contenido multimedia. Japón ha sido uno de los mercados que más ha empleado Flash Lite, pudiendo encontrar contenido basado en Flash Lite en más de la mitad de los dispositivos vendidos por NTT DoCoMo y KDDI.

2.3.11.5. Java Micro Edition

La plataforma Java Micro Edition (Java ME, anteriormente conocida como J2ME), es una especificación de un subconjunto de la plataforma Java orientada a proveer una colección certificada de aplicaciones de desarrollo de *software* para dispositivos con recursos restringidos como PDAs o teléfonos móviles.

Java ME fue diseñado por Sun Microsystems, que fue adquirida por Oracle Corporation en 2010. Java Micro Edition ha tenido muchas versiones o JSRs (*Java Specification Request*) desde la original JSR 68. Por ejemplo, la versión MIDP (*Mobile Information Device Profile*) fue concebida como una plataforma básica de herramientas para dispositivos que operaran en entornos que no pueden garantizar una conexión constante. El perfil CLDC (*Connection Limited Device Configuration*) fue diseñado pensando específicamente en los dispositivos móviles. Las últimas versiones se han diseñado teniendo en cuenta el «Internet de las cosas»⁴⁸. Actualmente, el uso de Java ME está siendo muy utilizado para crear juegos para teléfonos móviles debido a que se puede

⁴⁸ Internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés) es un concepto que se refiere a la interconexión digital de objetos cotidianos con Internet. Alternativamente, Internet de las cosas es el punto en el tiempo en el que se conectarían a Internet más «cosas u objetos» que personas. También suele referirse como el Internet de *todas* las cosas o internet *en* las cosas. Si los objetos de la vida cotidiana tuvieran incorporadas conexiones de radio, podrían ser identificados y gestionados por otros equipos de la misma manera que si lo fuesen por seres humanos.

emular en un ordenador personal durante la fase de desarrollo y luego ser trasladado fácilmente a un teléfono móvil.

2.3.12. Aplicaciones para multimedia en movilidad

Existen multitud de aplicaciones multimedia que han sido desarrolladas para su uso en redes móviles. Algunas de estas aplicaciones son muy comunes como SMS (*Short Message Service*) o MMS (*Multimedia Messaging Service*). Otros ejemplos como Flash Video Streaming o las aplicaciones de los servicios de Facebook y Twitter son más recientes.

Las aplicaciones pueden venir preinstaladas en los dispositivos o ser descargadas empleando WAP (*Wireless Application Protocol*) o WML (*Wireless Markup Language*) con un MMS. Suelen tener su propio icono en el menú de la pantalla del dispositivo móvil, y son ellas las que se encargan de gestionar el contenido multimedia incluyendo el establecimiento y control de la conexión.

La televisión digital en movilidad es un servicio que requiere de aplicaciones que empleen el protocolo 3GPP-PSS (*3GPP-Packet-switched Streaming Standard*) para obtener un flujo de datos de televisión constante que transportar, decodificar y reproducir en el dispositivo móvil.

MMS es una extensión de los servicios SMS definido como un nuevo estándar bajo 3GPP. Los MMS pueden tener multitud de contenidos distintos como texto, fotografías, audio y vídeo. Esa información puede ser formateada para ser presentada como SMIL (*Synchronized Multimedia Integration Language*). No existe límite al tamaño de los archivos, pero estos sí pueden verse limitados por la red en la que operan.

El servicio de descarga de *clips* de vídeo también es muy común en las redes móviles y funciona enviando una solicitud, bien por SMS u otro canal, o empleando una conexión WAP (*Wireless Application Protocol*). El contenido se puede recibir por SMS o ser descargado mediante el mismo WAP. El dispositivo deberá tener un reproductor compatible con el contenido multimedia descargado.

El servicio de vídeo en *streaming* se puede emplear para recibir contenidos como

televisión en directo. Generalmente se trata de un servicio bajo demanda. Los servicios de vídeo en *streaming* están estandarizados por 3GPP-PSS y se entregan mediante transmisión *unicast* del servidor al usuario.

Los servicios de videollamada se pueden realizar si ambos dispositivos disponen de una cámara. Los servicios de videollamada han sido estandarizados por la normativa 3G-324M, que usa en la red una conexión *circuit-switched* para garantizar un flujo de datos constante. Este servicio se puede ampliar para incluir también el de videoconferencia.

2.3.12.1. Acceso a la web desde dispositivos móviles

Cada día es más común el acceso a Internet empleando los navegadores instalados en los dispositivos móviles. La conexión se realiza habitualmente mediante GPRS (*General Packet Radio Service*), EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*), 3G, HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) o Wi-Fi, aunque nuevas tecnologías como LTE (*3G Long Term Evolution*) y WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) son cada día más accesibles.

En los primeros años de la Internet en movilidad, se desarrolló un subconjunto del lenguaje HTML (*HyperText Markup Language*) al que se llamó WAP (*Wireless Application Protocol*). WAP fue diseñado para ser empleado en sitios web especialmente diseñados para dispositivos móviles. «Micronavegadores» WAP fueron instalados en los dispositivos móviles que reproducían los sitios web como una serie de cartelas que se ajustaban a las pequeñas pantallas. WAP también dio lugar a la aparición de una versión reducida del lenguaje HTML llamada WML (*Wireless Markup Language*).

Sin embargo, muy pocos sitios web con tecnología WAP se hicieron populares debido a que al principio muchos de esos sitios eran de acceso restringido, y a que posteriormente las capacidades de los dispositivos móviles aumentaron rápidamente pudiendo soportar el lenguaje HTML e incluso Java de igual manera que los dispositivos fijos.

Hoy en día, la mayoría de los navegadores soportan completamente el lenguaje HTML, además de los más recientes XHTML Mobile (WAP 2.0) y Compact HTML (C-

HTML). Los usuarios actuales acceden a los sitios web sin tener en cuenta si han sido diseñados para dispositivos fijos (HTML) o móviles (WAP). Sin embargo, se ha mantenido la importancia de generar versiones para móviles de las webs, con imágenes ligeras y contenidos de carga rápida.

2.3.12.2. Navegadores para dispositivos móviles

El navegador de Internet de un equipo fijo puede mostrar un sitio web al completo, con todos sus gráficos, imágenes, vídeos y animaciones; pero el navegador de un dispositivo móvil tiene que contar con los recursos limitados del mismo, limitando y adaptando los contenidos. Además, para acceder a sitios web normales (no los diseñados para dispositivos móviles) los navegadores de los dispositivos móviles tienen que soportar complementos como SSR (*Small Screen Rendering*) o MSR (*Medium Screen Rendering*). También tienen que tener instalados *plug-ins* para Flash Lite o cualquier otro tipo de reproductor necesario. El que un dispositivo móvil tenga instalado Java ME o Adobe Flash Lite significa que podrán acceder a sitios web basados en esos sistemas y recibir contenidos mejores. La mayoría de los navegadores instalados en los dispositivos móviles actuales soportan Java y Flash.

2.3.13. La Open Mobile Alliance (OMA)

La Open Mobile Alliance (OMA) es una organización que desarrolla estándares abiertos para la industria de la telefonía móvil.

La OMA fue creada en junio de 2002 como respuesta a la proliferación de foros como WAP Forum (centrado en la exploración y en protocolos de aprovisionamiento de dispositivos), Wireless Village (centrado en mensajería instantánea y presencia), SyncML Consortium (centrado en la sincronización de datos), Location Interoperability Forum, Mobile Games Interoperability Forum y Mobile Wireless Internet Forum. Cada uno de estos foros tenía sus reglamentos, procedimientos de toma de decisiones, fechas del lanzamiento y a veces se solapaban las especificaciones entre ellos. El OMA fue creado para recolectar estas iniciativas debajo de un solo paraguas.

Entre sus miembros se encuentran fabricantes de dispositivos móviles (Ericsson, Siemens, Nokia, Sony, Philips, Motorola, Samsung...), operadores de telefonía móvil (Telefónica, Vodafone, Orange, T-Mobile...), y también compañías de *software*

(Microsoft, Sun Microsystems, IBM, Oracle Corporation, Symbian, Celltick...).

Los objetivos y directrices de la OMA son:

- Estandarizar las aplicaciones basadas en sistemas abiertos, protocolos e interfaces, entre otros, que sean independientes de los sistemas GSM, UMTS, CDMA, etc.
- Proporcionar servicios interoperables que permitan trabajar a través de países, operadoras y dispositivos móviles.
- Independencia de la red. OMA se restringe a sí misma de la estandarización de protocolos aplicables y deja que la elección de una tecnología de red sea especificada por terceros. Así, las especificaciones OMA son agnósticas en cuanto al tipo de tecnología de red a utilizar en la conexión y el transporte de datos. La especificación de OMA para una funcionalidad concreta es la misma para redes GSM, UMTS o CDMA2000.
- Voluntaria. OMA no es una organización de estándares promovida y patrocinada por un gobierno como podría ser la Unión Internacional de Telecomunicaciones. No obstante, sí pretende ser un foro para que las principales compañías de la industria se pongan de acuerdo y sigan unas especificaciones comunes para sus productos y servicios. Estrictamente hablando, el cumplimiento de los estándares es completamente voluntario puesto que OMA no tiene un poder mandatario.
- Licencia de propiedad intelectual "FRAND". Los miembros que posean derechos de propiedad intelectual, por ejemplo patentes en tecnologías esenciales para la realización de una especificación, deben estar de acuerdo en proporcionar licencias para su tecnología de una forma "justa, razonable y no discriminatoria" (FRAND - "*fair, reasonable and non-discriminatory*", del inglés) a los demás miembros de la OMA.
- La OMA es una compañía limitada (*British Limited Company*) según las

leyes británicas.

2.3.14. Compendio de formatos multimedia en movilidad

La multimedia digital conlleva el uso de multitud de formatos de archivo para audio, vídeo e imágenes. La multimedia digital en movilidad es un entorno aún más especial que emplea formatos de archivo estandarizados por el 3GPP, junto con otros grupos, que velan porque los contenidos multimedia puedan ser visualizados en los dispositivos móviles. A continuación, se presenta una tabla con los formatos de archivo multimedia más comunes.

Tabla 23. Formatos de archivos multimedia.

Formatos de archivos multimedia			
Formato	Extensión	Códec audio	Códec vídeo
3GPP	.3gp	AMR, AAC	H.263 MPEG-4
Windows Media	.wmv, .wma	Windows Media Audio	Windows Media Video
MPEG-4	.mp4	AAC	MPEG-4 <i>Visual</i>
MPEG	.mpg	MP3, AAC	MEPG-2
RealMedia	.rma, .rmv	RealAudio	RealVideo
QuickTime	.qt, .mov	AAC, AMR	MPEG-4 <i>Visual</i>
SMIL	.asf	AAC, AMR	MPEG-4 <i>Visual</i>
SVG	.svg		
Flash Lite	.flv	Sorenson, On2 VP6	Sorenson, On2 VP6
Java ME	.jar		
DivX	.divx, .mkv	DivX <i>Codec</i>	DivX <i>Codec</i>

CAPÍTULO 3. TECNOLOGÍAS PARA LA TELEVISIÓN DIGITAL EN MOVILIDAD

«Los microprocesadores se están metiendo en todo. En un futuro cercano no habrá ningún accesorio -salvo una escoba, acaso- que no tenga un procesador dentro».

Arthur C. Clarke

3.1. INTRODUCCIÓN A LAS TECNOLOGÍAS DE LA TELEVISIÓN DIGITAL EN MOVILIDAD

En octubre de 2003, Vodafone KK introdujo en el mercado japonés el primer teléfono móvil del mundo con un sintonizador de televisión analógico: el V601N de NEC, que era capaz de recibir radiodifusiones analógicas en NTSC de estaciones de televisión cercanas. A ese modelo le siguieron el V402SH y el V602SH de Sharp, que tenían una pantalla QVGA (320x260) capaz de reproducir vídeo a 30 fps. Múltiples dispositivos móviles, como ordenadores personales de bolsillo y nuevos modelos de teléfonos móviles, siguieron a estos primeros dispositivos con capacidad de recepción de televisión analógica. Pero pronto surgió la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías específicas para la televisión en movilidad, cuyas claves se exponen a continuación.

Foto 8. Modelo V601N de NEC. Imagen tomada del sitio: ASCII.jp.
<http://ascii.jp/elem/000/000/340/340823/>



3.1.1. Desafíos tecnológicos de la televisión digital en movilidad

Los teléfonos móviles constituyen el dispositivo por excelencia para el desarrollo de la televisión digital en movilidad, y además son un soporte totalmente diferente al de la televisión convencional. Sus pantallas son pequeñas, sus baterías se consumen rápidamente y están en movimiento. Se trata de unos dispositivos que se diseñaron originariamente para hablar. Los teléfonos móviles actuales poseen tecnologías capaces de procesar una señal de vídeo de cinco megabytes por segundo, que es la tasa de transmisión de datos de la televisión convencional, pero una señal de esa potencia agotaría rápidamente sus baterías debido al alto consumo energético del procesador, además de no ser necesaria una tasa de transmisión tan alta para una pantalla que es más pequeña que la de los dispositivos de televisión convencionales. Por todo esto, la televisión digital en movilidad requiere de tecnologías desarrolladas específicamente para sus particularidades que son:

- Ancho de banda reducido.
- Tamaño de pantalla pequeño.
- Alimentación energética por baterías.
- Movilidad del receptor.

3.1.1.1. Ancho de banda

La televisión terrestre, ya sea analógica o digital, está diseñada pensando en receptores fijos con antena incorporada y conectados a la red eléctrica. La señal de televisión convencional es muy fuerte y requiere de un gran ancho de banda para poder ser transmitida digitalmente.

Se debe contemplar el problema de la compresión de datos para la transmisión de voz, que ha sido tradicionalmente otra preocupación principal de la industria de la telefonía móvil debido al aumento exponencial del número de usuarios. Por ello, se han desarrollado estándares de compresión de datos regulados por el 3GPP (Third Generation Partnership Project) que permiten la existencia de miles de usuarios de telefonía móvil en una misma área. Además, se están desarrollando nuevos estándares de compresión de datos basados en los estándares de vídeo más populares como el MPEG-2 y el MPEG-4.

Pero el problema persiste cuando se quiere transmitir vídeo por los mismos canales que el audio debido a que el vídeo ocupa más ancho de banda. La televisión digital convencional sigue basándose en el estándar de compresión MPEG-2, que empieza a estar un poco desfasado y requiere de un gran ancho de banda. En la televisión digital en movilidad, se están aplicando estándares de compresión más eficaces, como el MPEG-4, diseñados específicamente para reducir al máximo la tasa de transmisión de datos, teniendo en cuenta a su vez el reducido tamaño de las pantallas con la consiguiente disminución de información a transmitir.

3.1.1.2. Tamaño de pantalla

Si se tiene en cuenta el reducido tamaño de las pantallas de los dispositivos móviles, se puede considerar que el número de píxeles necesarios a transmitir es, como máximo, un cuarto (1/4) de los requeridos por la televisión digital convencional. Una señal NTSC (720x480) o PAL (720x576) debe de ser convertida a QCIF (176x144) o QVGA (320x240), y ese proceso de transcodificación genera además un consumo energético que repercute en la batería del dispositivo. Otra técnica de adaptación de la televisión a los dispositivos móviles es la reducción del número de *frames* por segundo a transmitir. Los nuevos algoritmos de compresión basados en MPEG-4 tienen en cuenta el tamaño de las pantallas de los dispositivos móviles para reducir el ancho de banda necesario para transmitir el vídeo.

3.1.1.3. Consumo energético

Las tecnologías de televisión convencionales fueron diseñadas pensando en dispositivos conectados a la red eléctrica que no tuvieran problemas de suministro. Un sintonizador de televisión analógico convencional puede consumir entre 200 y 800 mW.

Las tecnologías de la televisión digital en movilidad están diseñadas específicamente para reducir el consumo energético de los receptores móviles. Una de las técnicas más utilizadas es el *time-slicing*, que permite a los dispositivos desactivar sus sintonizadores cuando no son necesarios sin por ello dejar de reproducir vídeo ininterrumpidamente llegando a ahorrar mucha energía. Con esta técnica, el sintonizador sólo funciona lo mínimo indispensable para garantizar un flujo de vídeo continuo, en lugar de permanecer encendido todo el tiempo con el consiguiente desperdicio energético.

3.1.1.4. Movilidad del receptor

Otro de los grandes retos tecnológicos que conlleva la televisión digital en movilidad es la gran tasa de incertidumbre que tiene su capacidad de recepción de señal. Debido a la movilidad de los dispositivos, se hacen necesarios sistemas de control y corrección de errores en la señal. Además, los dispositivos móviles pueden moverse a altas velocidades, como en el caso de un usuario viajando en coche o en un tren de alta velocidad que circule a 200 km/h. Los sistemas de radiodifusión convencionales, como la televisión digital terrestre, no funcionarían en estos casos debido a la modificación que se produciría en la frecuencia de la transmisión provocada por el Efecto Doppler. Por esto, se requieren técnicas de modulación de señal especiales. Además, un usuario de televisión digital en movilidad puede desplazarse fuera de la zona de cobertura de una estación de televisión local, por lo que se requieren tecnologías que cubran mayores áreas de terreno. Es por esto que la televisión digital en movilidad está dando lugar a la creación de nuevas tecnologías de radiodifusión, tanto por ondas terrestres como por satélite, basadas en la web e Internet.

3.1.2. Vías de desarrollo para la televisión digital en movilidad

La recepción de televisión digital en dispositivos móviles requiere de tecnologías diseñadas *ad hoc* que han de cumplir varios requisitos:

- Formatos de resolución adaptados para pantallas pequeñas como QCIF o QVGA con codificaciones altamente eficientes.
- Bajo consumo energético.
- Recepción estable en entornos de movilidad.
- Técnicas robustas de corrección de errores en la recepción.
- Gran calidad de imagen incluso en situaciones de desvanecimiento de señal.
- Capacidad de recepción en movilidad a velocidades superiores a 120 km/h.
- Capacidad de recepción dentro de una gran área. Amplia cobertura.

Ninguna de las tecnologías para la televisión analógica o digital, como DVB-T (*Digital Video Broadcasting–Terrestrial*) o ATSC (*Advanced Television Systems Committee*), poseían esas características, por lo que ha sido necesario que evolucionasen mediante técnicas de compresión de señal avanzadas, técnicas de corrección de errores hacia

delante, tecnologías de ahorro de consumo eléctrico y la estandarización de formatos para permitir la movilidad por territorios amplios, entre otros, dando lugar a toda una nueva serie de tecnologías para la televisión digital en movilidad.

Pero la evolución de las tecnologías para la televisión digital en movilidad depende de muchos actores como son:

- 1.- Los fabricantes y diseñadores de microprocesadores.
- 2.- Los fabricantes y diseñadores de sistemas operativos.
- 3.- Los fabricantes y diseñadores de *software* y aplicaciones.
- 4.- Los organismos oficiales reguladores de la radiodifusión de señales.
- 5.- Los operadores de telefonía móvil.
- 6.- Los operadores de radiodifusión de televisión convencional.
- 7.- Los operadores de radiodifusión de televisión por satélite.
- 8.- Los creadores y distribuidores de contenidos.

Los teléfonos móviles actuales poseen sus propios procesadores, que a su vez trabajan con sistemas operativos específicamente diseñados para ellos como Windows Mobile, así como con todo tipo de aplicaciones como buscadores y gestores de correo electrónico. Estos dispositivos utilizan estándares de gráficos y animación como Java y FLASH de Macromedia, así como reproductores de vídeo digital como RealPlayer y Windows Media. Los operadores pueden aprovechar estas características diseñando contenidos específicos para estas aplicaciones con las consiguientes ventajas. Una animación de FLASH consume mucho menos ancho de banda que el mismo contenido en vídeo convencional. Contenidos como paneles de noticias o la información meteorológica pueden aprovechar estas aplicaciones para presentar sus servicios de un modo más atractivo y con una transmisión de datos menor. Se está trabajando para adaptar estas tecnologías llegadas del mundo de los ordenadores personales al mundo de la telefonía móvil, en un esfuerzo por llegar a una nueva estandarización como la que ya existe en el mundo de la informática, pero adaptada a los reducidos tamaños de los dispositivos móviles.

Los nuevos teléfonos móviles no son sólo plataformas para la recepción de televisión digital, también son capaces de enviar mensajes multimedia, realizar videollamadas,

descargar audio, vídeo y aplicaciones, localizar vía GPS⁴⁹, y un largo etcétera. Las nuevas redes de transmisión de datos sin cables han demostrado ser una potente herramienta tanto para el trabajo como el entretenimiento. Los nuevos usuarios de telefonía móvil crean sus propios contenidos gracias a sus terminales móviles con cámara y aplicaciones y lo comparten con otros usuarios de la red.

Los nuevos teléfonos móviles constituyen una nueva plataforma, no sólo para la radiodifusión de contenidos convencional, sino también para una nueva generación de contenidos específicos, así como *software* y publicidad específicamente dirigida.

Casi todas las tecnologías y aplicaciones de la telefonía móvil tienen su origen en el mundo de los ordenadores personales. A pesar de la adaptación de estas aplicaciones a dispositivos con pantallas de poco más de dos pulgadas, persiste el problema de las decenas de tipos diferentes de formatos de audio y vídeo existentes, con sus diferentes compresiones, resoluciones y tamaños. Esto dificulta enormemente el encontrar un formato apropiado para una radiodifusión estándar.

Los nuevos teléfonos móviles son dispositivos versátiles, están conectados a las redes de telefonía móvil, pueden sintonizar la banda FM o conectarse a una red LAN sin cables. Respecto a la televisión digital en movilidad, pueden recibirla de varios modos, ya sea a través de las redes 3G, por ondas terrestres o por satélite. Lo único que hay que hacer es elegir el espectro de frecuencia para la transmisión, y es ahí donde surgen los problemas y las diferencias. En el mundo actual, con las telecomunicaciones en pleno auge, es muy difícil encontrar una banda útil del espectro radioeléctrico sin utilizar, y aún más difícil hacer que coincida en varios países o a nivel global.

La televisión digital en movilidad ha empleado múltiples vías de difusión para desarrollar sus servicios, desde las emisiones basadas en redes 3G, pasando por el empleo de tecnologías de redes de televisión digital terrestre y sus distintos estándares (DVB-T, ATSC, ISDB), o la evolución de estas tecnologías (DVB-H o ATSC M/H), e incluso la adaptación de estándares para la difusión de audio digital como DAB (DMB).

⁴⁹ El GPS (*Global Positioning System*) es un sistema que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto (una persona, un vehículo, etc.) con una precisión de hasta centímetros. El GPS funciona mediante una red de 24 satélites en órbita a 20 200 km de altura con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la Tierra.

También se han ensayado sistemas basados en la transmisión por satélite y sistemas híbridos satélite-terrestre. Por último, se han desarrollado algunas tecnologías completamente nuevas como WiMAX.

Tabla 24. Vías de desarrollo para la televisión digital en movilidad.

	Redes móviles		Difusión terrestre	Difusión satélite	WiMAX
<i>Unicast</i> / <i>Multicast</i>	<i>Unicast</i> <i>Multicast</i> <i>Broadcast</i>		<i>Broadcast</i>	<i>Broadcast</i>	<i>Unicast</i> <i>Multicast</i> <i>Broadcast</i>
Redes	3GPP 3G-UMTS HSDPA HSPA	3GPP2 CDMA2000 EV-DO	Terrestres	Satélite & Terrestre	WiMAX
Tecnologías	MBMS <i>Streaming</i> (PSS)	MCBCS <i>Streaming</i> (PSS)	DVB-H DMB-T MediaFLO ISDB-T 1Seg	DMB-S DVB-SH	MBS <i>Streaming</i>

3.1.2.1. Redes de telefonía móvil

Las operadoras de telefonía móvil han estado intentando proveer a sus usuarios de servicios de vídeo en *streaming* desde la aparición de las tecnologías 2.5G (EDGE y CDMA2000). El objetivo de estos servicios era proporcionar vídeo y audio en descarga o *streaming* mediante una conexión a Internet, de manera similar a como los dispositivos fijos lo hacían. Los *clips* de vídeo que se podían reproducir o descargar de este modo sólo podían durar unos segundos y eran de una pésima calidad debido a lo limitado de las condiciones de transmisión.

A medida que evolucionaron las redes 3G, aumentaron las tasas de transmisión de datos posibles hasta alcanzar los 128 kbps necesarios para la difusión de audio y vídeo que, junto con el desarrollo de nuevas técnicas de codificación basadas en MPEG-4, permitieron la creación de servicios de vídeo en movilidad con una calidad aceptable. Entonces surgió la necesidad de estandarizar los protocolos de codificación para permitir un servicio uniforme de vídeo en movilidad que pudiese funcionar en distintas redes de transmisión y en varios tipos de dispositivos móviles distintos. Surge así el

3GPP (Third Generation Partnership Project) con el objetivo de estandarizar los formatos de archivos que se van transmitir, los algoritmos de compresión a emplear, así como los procedimientos para las conexiones. Como resultado de los esfuerzos del comité 3GPP, los servicios de televisión digital en movilidad a través de redes 3G son hoy en día universales.

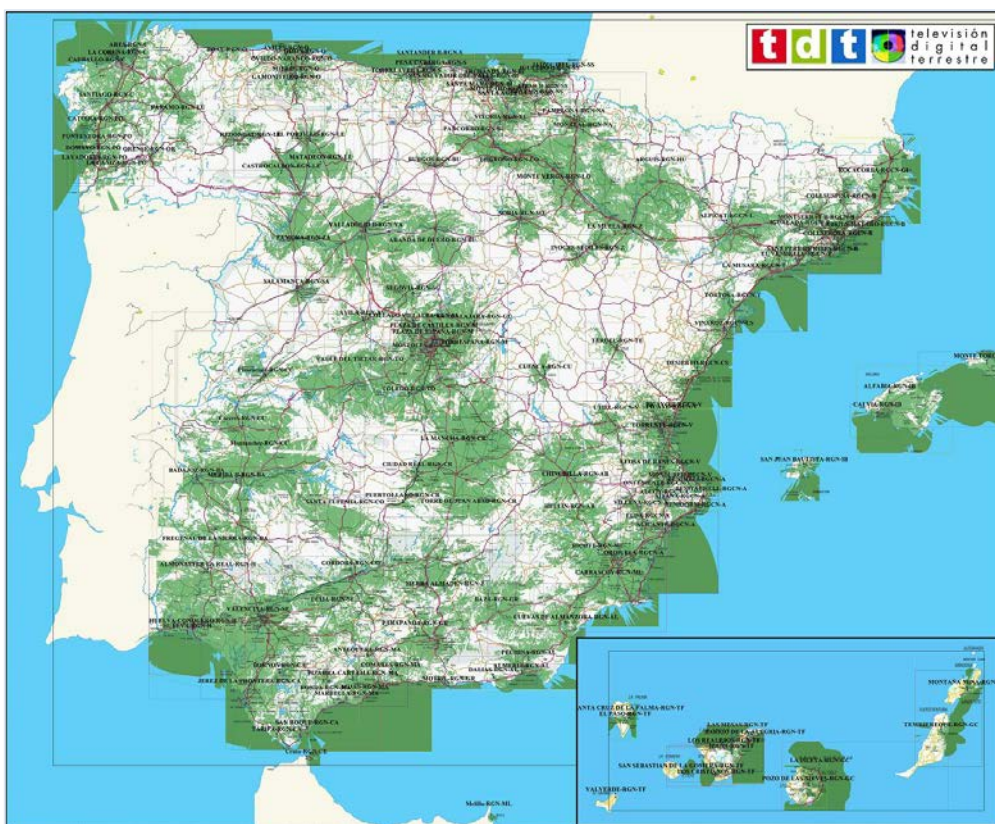
3.1.2.2. Redes terrestres de difusión de televisión

Los operadores de radiodifusión de televisión, mientras tanto, pensaban en cómo aprovechar sus redes de difusión para ofertar servicios de televisión digital en movilidad. Las redes Europeas, de Estados Unidos y Japón estaban en pleno proceso de adaptación a la televisión digital terrestre, lo que ahora permitía el enviar ocho canales de vídeo en definición estándar en el mismo ancho de banda que antes ocupaba un solo canal.

El funcionamiento de la televisión digital en movilidad mediante redes de difusión de televisión terrestres es completamente diferente del funcionamiento mediante redes de telefonía móvil. La recepción se hace directamente desde los canales de la red de televisión digital terrestre, y no intervienen las redes 2.5G o 3G de telefonía móvil. El dispositivo móvil emplea un sintonizador y demodulador de señal independiente y no tiene porque ser un teléfono móvil ni tener conexión a Internet.

Para que los servicios de televisión digital en movilidad pudieran aprovecharse de las nuevas radiodifusiones de televisión terrestre, fue necesario el adaptar los distintos sistemas tecnológicos para poder transportar una señal de televisión a un entorno en movilidad. Y esto se hizo empleando varias técnicas.

Figura 33. Mapa de cobertura de la TDT en España en 2010. Imagen tomada del sitio: Portalciencia. <http://www.portalciencia.net/tdt/tdtcobe.html>



Una de esas técnicas consiste en insertar el flujo de transporte de televisión en movilidad en el mismo flujo de transporte de televisión digital terrestre en MPEG-2. Los estándares DVB-T (*Digital Video Broadcasting–Terrestrial*) y ATSC (*Advanced Television Systems Committee*) se basan en MPEG-2 que funciona como un conducto en el que se pueden codificar muchos tipos de contenido con compresiones diferentes. Todos estos contenidos ocupan su propio flujo de datos dentro del flujo principal y pueden consistir en televisión en definición estándar, televisión en alta definición, audio, subtítulos, EPG (*Electronic Program Guide*) y datos. Otra técnica consiste en asignar parte del ancho de banda de la señal de televisión digital terrestre al transporte de televisión digital en movilidad, evitando así la necesidad de *multiplexar* la señal de televisión móvil junto con otros canales de televisión convencional.

La señal de televisión en movilidad sobre redes de difusión de televisión terrestre requiere de unas características especiales para poder ser transmitida sobre una red poco robusta a dispositivos móviles con pantallas pequeñas y problemas de consumo

eléctrico:

- La señal de televisión en movilidad debe de estar codificada pensando en resoluciones para pantallas pequeñas (QCIF o QVGA).
- Se deben emplear sistemas de codificación altamente eficientes (MPEG-4, H.264, AAC o AMR-WB+). Cada sistema tecnológico (DVB-H o ATSC M/H) marca sus pautas de codificación.
- La señal de televisión en movilidad se *multiplexa* en un flujo específico separado del flujo de transporte principal (MPEG-2).
- La señal de televisión en movilidad debe de ser especialmente robusta, ya que los dispositivos móviles no disponen de grandes antenas.

3.1.2.3. Sistemas de difusión híbridos satélite-terrestre

La implantación de la televisión digital terrestre ha traído muchas ventajas, siendo una de las mayores el poder recuperar parte del valioso espectro radioeléctrico para dedicarlo a las redes 3G. Sin embargo, las redes de radiodifusión terrestres tienen muchos problemas de alcance y están supeditadas a la existencia de una línea de visión directa entre el receptor y el emisor (o repetidor). Por su parte, las redes 3G tienen áreas de cobertura que muchas veces traspasan las fronteras de los propios países que las albergan. Para solventar el problema de las limitaciones de la radiodifusión de televisión digital en movilidad vía redes de televisión digital terrestre se han implementado sistemas basados en señales de alta potencia enviadas directamente por satélites. Un ejemplo de sistema de difusión híbrido satélite-terrestre sería S-DMB (*Satellite-Digital Multimedia Broadcasting*) de Corea del Sur, que emplea un satélite para transmitir señal de televisión digital en movilidad directamente a los dispositivos móviles.

3.1.2.4. Redes wireless

Las redes de banda ancha sin cables como Wi-Fi (IEEE 802.11) son usadas ampliamente hoy en día por todo tipo de dispositivos, tanto fijos como móviles. Permiten a los dispositivos móviles el acceso a Internet y la navegación por la web, además de descargar vídeo o reproducirlo en *streaming*, pero su empleo viene muy limitado por sus áreas de cobertura. La mayoría de los nuevos modelos de teléfonos móviles ya vienen con tecnología Wi-Fi incorporada.

Para grandes áreas de cobertura, como una ciudad, se emplean tecnologías como Mobile WiMAX (originalmente IEEE 802.16e-2005 y actualmente 802.16m-2011 «Mobile WiMAX *release 2*») que es una tecnología diseñada para proporcionar conexiones de banda ancha con calidad de servicio (QoS). Mobile WiMAX (*Mobile Worldwide Interoperability for Microwave Access*) puede proporcionar tasas de transmisión de datos de entre 2 y 20 Mbps en un radio de cinco kilómetros en su versión original. Mobile WiMAX *release 2* puede ofrecer tasas de 100 Mbps a dispositivos móviles y de 1 Gbps a dispositivos fijos.

La mayoría de las tecnologías para servicios de multimedia en movilidad se basan en el empleo de conexiones IP en modo *unicast* o *multicast*. WiMAX emplea una combinación de los dos modos llamada conexión MBS (*Multicast and Broadcast Service*). Las tecnologías WiMAX proporcionan un medio alternativo a las conexiones basadas en IP para ofertar servicios de multimedia en movilidad, y son una alternativa al empleo de las tecnologías 3G y de difusión de televisión digital en movilidad por redes de difusión de televisión digital terrestre. Muchos nuevos modelos de teléfonos móviles ya vienen con tecnología WiMAX incorporada.

Foto 9. Modelo Samsung Mondri con tecnología WiMAX. Imagen tomada del sitio: Xataka.
<http://www.xataka.com/portatiles/samsung-mondri-un-mid-con-conectividad-wimax>



Existen aplicaciones para proporcionar servicios de televisión digital en movilidad sobre redes WiMAX con compatibilidad global. Mobile WiMAX proporciona

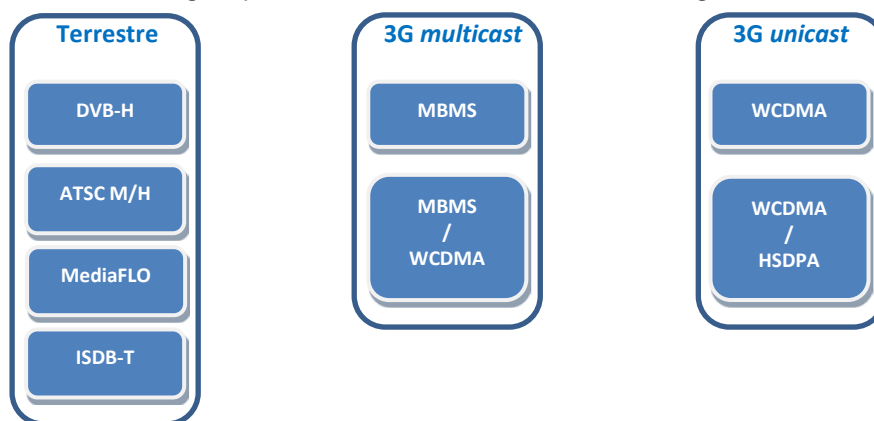
conexiones con calidad de servicio (QoS); si durante una conexión de vídeo en *streaming* se degrada la capacidad de transmisión el flujo de datos (bits) se mantiene constante, ya sea adaptando la modulación o asignando portadoras adicionales a la señal. Mobile WiMAX también emplea técnicas de ahorro de energía y permite el *roaming* entre estaciones sin interrupción de la señal.

Los teléfonos móviles con tecnología WiMAX incorporada tienen acceso constante a Internet, capacidad de videollamada y videoconferencia, y servicios de vídeo y audio en *streaming*. Los teléfonos móviles con tecnología WiMAX no están limitados al uso de formatos y estándares aprobados por el 3GPP, en su lugar, emplean las mismas capacidades que las aplicaciones de Internet para dispositivos fijos.

3.1.3. Estándares de radiodifusión para la televisión digital en movilidad

Existen varios estándares para la radiodifusión de televisión digital en movilidad que emplean, a su vez, los cuatro tipos de redes que acabamos de repasar (3G, terrestres, satélite y banda ancha sin cables). A continuación, se hace una breve introducción a las características de cada una de las tecnologías que emplean esas redes para proporcionar servicios de televisión digital en movilidad.

Figura 34. Tecnologías para la radiodifusión de la televisión digital en movilidad.



3.1.3.1. Tecnologías 3G

Las redes 3G y sus versiones evolucionadas proporcionan tasas de transmisión de datos de entre 128 kbps y 2 Mbps, que son suficientes para proporcionar servicios de

televisión digital en movilidad en *streaming*. Las plataformas 3G ofrecen hoy en día servicios tanto de televisión en directo en *streaming* como de vídeo bajo demanda.

Existen dos enfoques principales a la hora de transmitir contenidos a un teléfono móvil: el modo *unicast* y el modo *broadcast*. En el modo *broadcast*, el mismo contenido es entregado a través de la red a un ilimitado número de usuarios, lo que lo convierte en un modo ideal para difundir canales de televisión de gran demanda. En el modo *unicast*, cada usuario establece una conexión vía RTSP (Real Time Streaming Protocol) y recibe su propio flujo de vídeo. Si cien mil usuarios dentro de una misma área quieren ver el mismo canal de televisión, se necesitarán cien mil flujos diferentes del mismo canal, uno para cada usuario en modo *unicast*. El *unicast* tiene la ventaja de que el usuario puede conectar con el servidor de vídeo en *streaming* y gestionar su propia conexión, pero conlleva la desventaja de que muchos usuarios podrían colapsar el sistema con la consecuente degradación de la señal. El modo *broadcast* también puede funcionar en *multicast*, que consiste en que la fuente principal transmite en *broadcast* para varios grupos *multicast* a los que luego se conectan los usuarios de manera selectiva. Actualmente, la mayoría de servicios de televisión digital en movilidad basados en redes 3G se basan en el empleo del modo *unicast*.

Figura 35. *Broadcast y unicast*.



Las tecnologías basadas en redes 3G están divididas en dos corrientes: las evolucionadas de las redes GSM (*Global System for Mobile communications*), que están estandarizadas por el grupo 3GPP; y las evolucionadas de las redes CDMA (Code Division Multiple Access), que están estandarizadas por el grupo 3GPP2. Ambos sistemas soportan la entrega de servicios de televisión digital en movilidad en modo *unicast*, *multicast* y *broadcast*. 3GPP emplea la tecnología MBMS (*Multimedia Broadcast Multicast Service*) y 3GPP2 utiliza BCMCS (*Broadcast and Multicast*

Service).

Para poder proporcionar servicios de televisión digital en movilidad sobre redes 3G, se requieren las siguientes condiciones:

- Codificación de la señal de televisión según las especificaciones de 3GPP o 3GPP2.
- Aplicación de DRM (*Digital Rights Management*) a la señal en el caso de contenidos de pago.
- Creación de un sitio web en el que se pueda acceder a los canales disponibles.
- Proporcionar un servidor capaz de establecer conexiones con el usuario para transmitir vídeo en *streaming*.

Los servicios de televisión digital en movilidad sobre redes 3G se diferencian de los proporcionados a través de redes terrestres mediante tecnologías *broadcast* en muchos aspectos como son: la interactividad, la universalidad o los contenidos específicos.

Interactividad. Los servicios multimedia ofrecidos vía redes 3G suelen estar basados en la naturaleza bidireccional de la conexión *unicast* como ocurre con las videollamadas, las videoconferencias, los *chats* y las descargas. También existen aplicaciones para servicios como vídeo bajo demanda, generar contenidos propios o servicios de *e-commerce*. Por el contrario, las redes de difusión terrestres suelen estar enfocadas en la comunicación unidireccional hacia grandes audiencias, pero este tipo de comunicación en *broadcast* también se puede beneficiar de la capacidad de comunicación del receptor móvil e incluir aplicaciones interactivas gracias a las tecnología 3G.

Universalidad. Las redes 3G están masivamente extendidas en Europa, los Estados Unidos y muchos países de Asia y África. Una de las claves del éxito del sistema ha sido el apoyo de los fabricantes de teléfonos móviles a los protocolos dictados por el 3GPP para la codificación y decodificación de las señales, el *streaming*, los servicios DRM y los formatos de contenido, que permiten a los usuarios disfrutar con su dispositivo móvil de los servicios de televisión digital en movilidad dondequiera que se puedan conectar a una red 3G.

Contenidos específicos. Muchos operadores de señal de televisión ya han empezado a

adaptar sus contenidos generando canales específicos de televisión digital en movilidad que incluyen noticias, deportes, música, información meteorológica y hasta series de televisión, entre otros.

Por último, hay que señalar que los servicios de televisión digital en movilidad sobre redes 3G han experimentado un éxito mucho mayor que el esperado originalmente, derivando en un uso intensivo de este tipo de redes que ha llevado a los operadores a tener que adaptarse rápidamente actualizando sus sistemas para incluir las llamadas tecnologías 3G+ como EV-DO (*Evolution-Data Optimized*) y HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*), o las recientes redes LTE (llamadas 4G).

3.1.3.2. Tecnologías terrestres

La vía terrestre es la forma original de difundir televisión. El sistema PAL y el sistema NTSC han estado funcionando durante más de 50 años por vía terrestre. Los transmisores de televisión terrestre emplean señales de alta potencia diseñadas para poder ser recibidas por receptores en áreas de 30 km de radio. La transmisión de señales de alta potencia hace que los transmisores terrestres sean ideales para ser empleados para la recepción en interiores; en oposición a las señales por satélite que requieren de línea de visión directa entre emisor y receptor. Las difusiones de televisión analógica han ido dejando paso recientemente a las tecnologías digitales de difusión. En Europa, la Comisión Europea propuso mayo de 2005 como fecha recomendada para el «Apagón Analógico» y el año 2012 como fecha límite para todos los países. España culminó el «Apagón Analógico» el 3 de abril de 2010.

La radiodifusión terrestre de televisión emplea las bandas UHF y VHF, lo que le da una capacidad total de 450 MHz de ancho de banda (a compartir hoy en día con la telefonía móvil) pudiendo acomodar en ese espacio hasta 60 canales de televisión analógica. DVB-T (*Digital Video Broadcasting–Terrestrial*) y ATSC (*Advanced Television Systems Committee*), los dos estándares de televisión digital terrestre más extendidos del mundo, emplean la codificación MPEG-2 que permite acomodar entre seis y ocho canales de televisión en el mismo espacio que antes ocupaba un canal analógico PAL o NTSC.

Tabla 25. Principales estándares de radio y televisión digital terrestre por países.

Países	Radio	Televisión
Europa	DAB	DVB
Estados Unidos	HD Radio XM/SIRIUS	ATSC
Japón	ISDB	ISDB
Corea del Sur	DAB	DMB

La capacidad para introducir más programas de televisión digital o de radio digital en el limitado número de canales disponibles en las redes terrestres se ha conseguido gracias a sistemas de modulación como COFDM (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). En los entornos de transmisión en tiempo real, la propagación multitrayectoria de la señal y los ecos producidos por los objetos encontrados en su camino llevan a retardos en la recepción de la señal. Este es un problema común de las redes de frecuencia única⁵⁰ (SFN o *Single Frequency Networks*). COFDM es una técnica compleja de modulación de banda ancha utilizada para transmitir información digital a través de un canal de comunicaciones que combina potentes métodos de codificación más el entrelazado para la corrección de errores en el receptor. COFDM modula la información en múltiples frecuencias portadoras ortogonales⁵¹ donde cada una está modulada en amplitud y fase, y lleva una tasa de *símbolos*⁵² muy baja además de tener una alta eficiencia espectral. Es un tipo de modulación OFDM especialmente apropiada para las necesidades de los canales de difusión terrestre.

COFDM y OFDM tienen en común la ortogonalidad, los esquemas de modulación de las portadoras, la adición del intervalo de guarda⁵³, la sincronización y la ecualización. Las mejoras de COFDM sobre OFDM son: la codificación contra errores, el entrelazado

⁵⁰ La Red de Frecuencia Única (SFN o *Single Frequency Network*) es un tipo de radiodifusión donde distintos transmisores emiten la misma señal en el mismo canal de frecuencia. Análogamente con los sistemas de radiodifusión de FM y de AM, los sistemas de radiodifusión digital también pueden operar de este modo. La televisión digital terrestre emplea esta técnica con el propósito de conseguir un mejor aprovechamiento del espectro de las bandas de televisión en comparación con la televisión analógica, que empleaba una Red de Frecuencia Múltiple (MFN o *Multiple Frequency Network*).

⁵¹ Perpendiculares.

⁵² La tasa de bits y la tasa de *símbolos* son dos valores que se utilizan en las telecomunicaciones para expresar la cantidad de información transmitida a través del tiempo. La tasa de bits se refiere al número de bits transmitidos por segundo, mientras que la tasa de *símbolos* es el número de *símbolos* (expresado a través de un pulso o un tono) por segundo. Estos dos valores tienen una relación directa en su valor.

⁵³ En telecomunicaciones, los intervalos de guarda se utilizan para asegurarse de que las diferentes transmisiones no interfieren entre ellas. Estas transmisiones pueden pertenecer a varios usuarios (como en TDMA) o al mismo usuario (como en OFDM).

de las portadoras de datos en frecuencia o en tiempo y frecuencia, y la información de estado del canal (*Channel State Information*) combinada con la técnica de descodificación con decisión flexible (*Soft-Decision Decoding*). La modulación COFDM es empleada por los sistemas DVB-T y DVB-H, mientras que ISDB-T, WiMAX y el desaparecido MediaFLO emplean la modulación OFDM.

La combinación de robustas tecnologías de modulación, junto con una buena planificación de la implementación de los transmisores y repetidores para un área determinada, es también fundamental para evitar las interferencias de señal y permitir la movilidad de los receptores.

Los servicios de televisión digital en movilidad sobre redes terrestres son muy comunes ya que, al emplear transmisores de alta potencia, la señal de televisión puede alcanzar a los dispositivos móviles pese a sus pequeñas antenas incluso en interiores. Además, emplean el mismo espectro que los servicios de televisión digital terrestre, dejando libre las frecuencias asignadas a los servicios 3G. La mayoría de países tienen saturadas sus bandas VHF y UHF, pero se podrían proporcionar entre 20 y 40 canales de televisión digital en movilidad con sólo asignar un único canal de 8 MHz de ancho de banda.

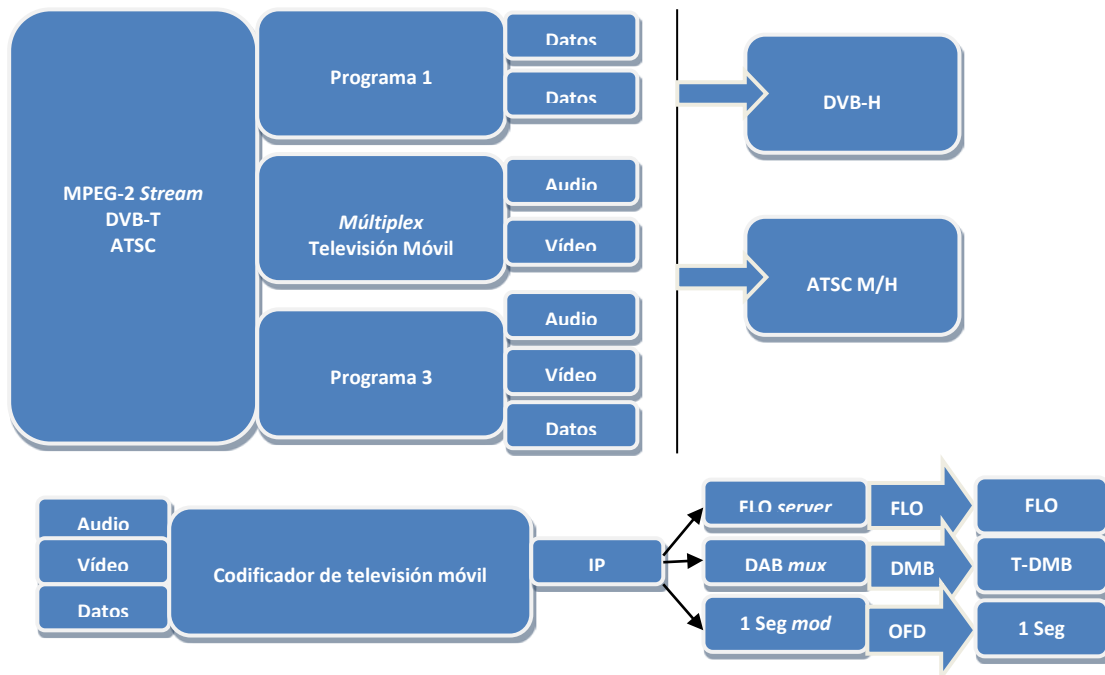
Dentro del ámbito de las redes terrestres de difusión, han evolucionado tres tipos de tecnologías para la difusión de televisión digital en movilidad:

- Estándares de televisión digital en movilidad basados en tecnologías anteriores de televisión digital terrestre. Estos estándares serían: DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*), que es una evolución de DVB-T; ATSC M/H (*Advanced Television Systems Committee Mobile/Handheld*), que es una evolución de ATSC; y el japonés ISDB-T 1 Seg (*Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial 1 Segment*), que es un perfil del sistema ISDB-T.
- Estándares de televisión digital en movilidad basados en tecnologías de difusión de audio digital. El estándar DAB (*Digital Audio Broadcasting*) ha demostrado ser un sistema muy solvente y robusto para la difusión de audio y datos a dispositivos móviles. El estándar DMB (*Digital Multimedia Broadcasting*) está directamente basado en el sistema DAB y emplea las mismas frecuencias en su

variante terrestre (T-DMB).

- Estándares de televisión digital en movilidad basados en nuevas tecnologías. El extinto sistema MediaFLO se concibió como una nueva tecnología para la difusión de televisión digital en movilidad mediante IP a través de una interfaz aérea especialmente diseñada llamada FLO (*Forward Link Only*) que operaba en canales de 6 MHz de ancho de banda. Fue desarrollado por la compañía estadounidense Qualcomm.
- Tecnologías específicas de países. China emplea una tecnología desarrollada localmente para sus radiodifusiones digitales llamada DTMB (*Digital Terrestrial Multimedia Broadcast*). El estándar chino para radiodifusión terrestre de televisión y multimedia se llama CMMB (*China Mobile Multimedia Broadcasting*).

Figura 36. Tecnologías para la televisión digital en movilidad.



Existen muchas diferencias entre difundir televisión digital en movilidad sobre redes 3G o sobre redes terrestres, siendo las principales:

- Transmisión a un ilimitado número de usuarios. Las redes terrestres emiten en *broadcast*, por lo que pueden alcanzar a un ilimitado número de usuarios en su

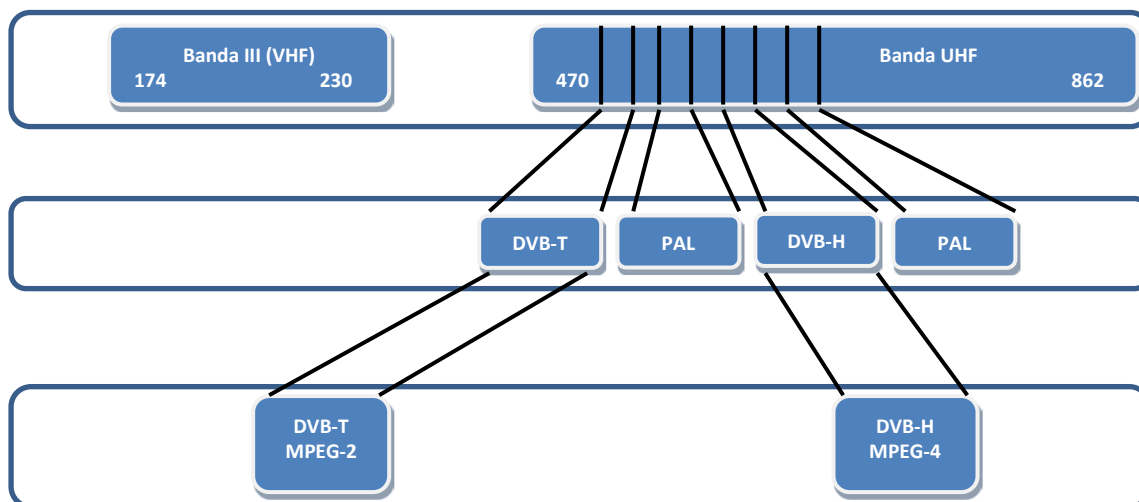
área de influencia sin saturar la red, al contrario de lo que ocurre en el sistema *unicast*.

- Protección de contenidos. Las redes terrestres pueden emplear tecnologías de encriptación de la señal o de DRM (*Digital Rights Management*).
- Sintonizadores. La televisión digital en movilidad sobre redes terrestres requiere que los dispositivos móviles tengan un sintonizador incorporado. En algunos países como Japón y Corea del Sur, la mayoría de los dispositivos incluyen un sintonizador, lo que ha contribuido al éxito de los estándares T-DMB e ISDB-T. La implantación del estándar DVB-H se ha visto muy perjudicada debido a la falta de dispositivos con sintonizador para esa tecnología.
- Interactividad. Uno de los componentes fundamentales de la televisión digital en movilidad es la interactividad, que no puede lograrse mediante el empleo de redes de difusión terrestres, pero sí puede alcanzarse si el uso de las redes terrestres se complementa con otro medio para alcanzar un canal de retorno como, por ejemplo, mediante el uso de las redes 3G.
- Flexibilidad en el uso de formatos. La transmisión de televisión digital en movilidad sobre redes 3G viene regulada por el 3GPP. La televisión digital en movilidad sobre redes terrestres, por el contrario, puede emplear todo tipo de formatos, incluidos: MPEG-4, H.264, Flash Video, DivX o Windows Media, entre otros. El único requisito es que el dispositivo disponga de un reproductor compatible con ese formato.
- Resolución y *buffering*. La transmisión de televisión digital en movilidad en redes terrestres sucede siempre a resolución máxima, lo que le da una gran calidad. El problema es que, cuando la potencia de señal es pobre, la recepción comienza a fallar muy rápido.

3.1.3.3. DVB-T

DVB-T (*Digital Video Broadcasting–Terrestrial*) es el estándar para televisión digital terrestre en Europa, Asia, además de otros países. DVB-T se transmite usando los rangos de frecuencia 174-230 MHz (VHF banda III) y 470-862 MHz (UHF), los mismos que empleaba la televisión analógica.

Figura 37. Espectro para la televisión digital terrestre.



DVB-T emplea la modulación COFDM (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), que fue diseñada para ser muy robusta en las transmisiones terrestres. Una señal analógica puede sufrir una degradación en su calidad debido a la transmisión multitrayectoria y a las señales reflejadas que pueden causar imágenes «fantasma», pero una señal digital es inmune a los ecos, a las señales reflejadas y a la interferencia entre canales. Esto se consigue dividiendo los datos entre un gran número de frecuencias subportadoras, que pueden ser de 2K o de 8K, con muy poco espacio entre ellas. Por ejemplo, una señal DVB-T puede tener 1705 subportadoras de 2K (transmisiones simples para un área reducida) o 6917 subportadoras de 8K (para áreas geográficas extensas). Una portadora DVB-T puede albergar una tasa de transmisión de datos de entre 4,98 Mbps y 31,67 Mbps. Una portadora típica podría tener 19,35 Mbps con codificación RS⁵⁴ (Reed-Solomon) y un ancho de banda de 6,67 MHz. DVB-T también emplea el entrelazado de frecuencias, además de un gran número de portadoras para evitar el desvanecimiento por multitrayectoria. Las modulaciones de las portadoras pueden ser en QPSK, 16-QAM o 64-QAM.

El estándar DVB-T ha probado ser efectivo para transmitir televisión digital terrestre a dispositivos en movimiento como los trenes y autobuses empleados por los servicios de

⁵⁴ Reed-Solomon es un código cíclico no binario. Los códigos cíclicos son una subclase de los códigos de bloque estándar de detección y corrección de errores que protegen la información contra errores en los datos transmitidos sobre un canal de comunicaciones. Este tipo de código pertenece a la categoría FEC (*Forward Error Correction*), es decir, corrige los datos alterados en el receptor y para ello utiliza unos bits adicionales que permiten esta recuperación a posteriori. El código fue inventado por Irving S. Reed y Gustave Solomon, de ahí su nombre, en 1960.

transporte público. También ha sido utilizado para proporcionar servicios de televisión en alta definición.

DVB-T también se puede emplear para transmitir señal de televisión a dispositivos móviles que tengan el sintonizador adecuado, pero suele generar problemas como un alto consumo energético, problemas de adaptación de la resolución a pantallas pequeñas, problemas de recepción de la señal debido a las limitaciones de antena y limitación a la velocidad de desplazamiento de los dispositivos con antenas pequeñas.

3.1.3.4. ATSC

ATSC (*Advanced Television Systems Committee*) es uno de los estándares más extendidos para televisión digital terrestre en Estados Unidos, algunos países del continente americano y Corea del Sur. El estándar ATSC emplea una modulación llamada 8-VSB (*8-Level Vestigial Sideband*) con una tasa de transmisión de datos típica de 19,39 Mbps que se puede acomodar en un ancho de banda de 5,38 MHz con codificación RS (Reed-Solomon). ATSC es también un estándar tipo «paraguas» que especifica las características de todos los componentes del sistema de radiodifusión:

- Audio. ATSC A/52. Codificación Dolby Digital AC3 (estándar propietario usado bajo licencia).
- Vídeo. ATSC A/72. MPEG-2 o MPEG-4 AVC/H.264.
- Flujo de transporte MPEG-2. PSIP (*Program Service and Information Protocol*). DASE (*Date Applications Software Environment*). Java y HTML.

La modulación 8-VSB no resulta muy eficaz en combinación con redes SFN (*Single Frequency Network*) o para la recepción en entornos en movilidad con alta velocidad (superior a 50 km/h). Por eso, se suele emplear el sistema DTS (*Distributed Transmission System*), que es un tipo de SFN en la que una única señal de radiodifusión es enviada a múltiples transmisores terrestres sincronizados, que a su vez la radiodifunden simultáneamente en la misma frecuencia en pequeñas partes superpuestas a una misma área de cobertura, consiguiendo así que múltiples pequeños transmisores generen una gran área de cobertura sin huecos debidos a accidentes del terreno.

3.1.3.5. DVB-H

DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*) es un estándar para la difusión de televisión digital en movilidad sobre redes terrestres basado en el estándar DVB-T y desarrollado por el grupo DVB. DVB-H supera los problemas que tenía el sistema DVB-T para funcionar en entornos en movilidad logrando un menor consumo de batería, mejorando la robustez de la señal mediante técnicas de corrección de errores hacia delante y modulando la señal en 4K de manera que evite los problemas derivados del Efecto Doppler. DVB-H emplea la misma infraestructura y el mismo espectro de frecuencias que DVB-T.

Tabla 26. Comparativa DVB-T y DVB-H.

DVB-T	DVB-H
Definición estándar	Definición estándar
4-5 Mbps por canal	256-512 kbps por canal
25-30 fps	15-30 fps
VGA 640x480	QVGA 320x240
Slots de 8 MHz	Slots de 8 MHz
5-6 canales en MPEG-2	20-40 canales en IP <i>Datacast</i>

La primera prueba de un servicio DVB-H fue realizada por Finnish Mobile TV en 2005 para 500 usuarios del dispositivo Nokia 7710. Desde entonces, se han llevado a cabo innumerables pruebas del sistema, tanto en Europa como en Asia. DVB-H ha sido estandarizado por DVB y la ETSI (European Telecommunications Standards Institute) como EN 302 304 en noviembre de 2004. En el año 2008, la ETSI declaró que DVB-H era el estándar para la televisión digital en movilidad en Europa.

Italia, Finlandia, los Países Bajos, Austria, Francia y Malasia, entre otros, han realizado grandes esfuerzos por implementar redes DVB-H. No obstante, la futura implantación de esta tecnología y sus derivadas depende, en gran medida, de la liberación de espectro y de la asignación de frecuencias, por lo que la tecnología DVB-H todavía no ha logrado un gran impacto.

DVB-H emplea el mismo flujo para transportar los programas en definición estándar (codificados en MPEG-2) y los programas de televisión digital en movilidad

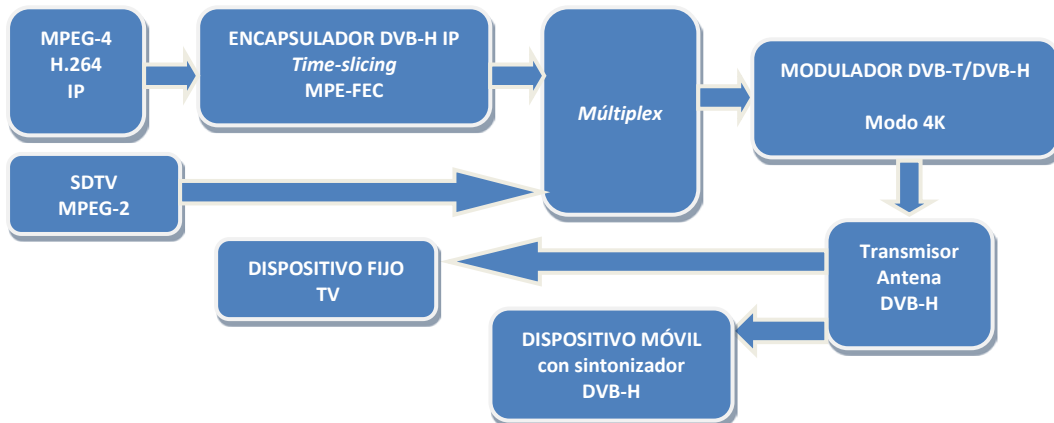
(codificados en H.264/AVC). La señal en definición estándar (SDTV) llega a un modulador DVB-T/DVB-H. La señal de televisión digital en movilidad en H.264 se conecta a un encapsulador IP que combina el vídeo con el audio y los datos EPG (*Electronic Program Guide*) en *frames*⁵⁵ IP. El encapsulador IP proporciona información para organizar los datos con la técnica de *time-slicing*, permitiendo al receptor permanecer inactivo cuando no tiene que recibir señal. El encapsulador IP también aplica una codificación FEC (*Forward Error Correction*) más robusta a la señal de televisión digital en movilidad para asegurarse de que los dispositivos con antenas pequeñas pueden recibirla.

El encapsulador IP produce una señal en formato ASI⁵⁶ (*Asynchronous Serial Interface*) que llega a un modulador que emplea COFDM (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) con portadoras de 4K. DVB-H debe modularse en modo 4K, a diferencia de DVB-T que se modula en 2K y 8K, para evitar problemas de desvanecimiento de señal por el pequeño tamaño de las células debido al intervalo de guarda requerido para las redes de frecuencia única (2K), y a posibles problemas de desplazamiento causados por el Efecto Doppler debido a que las portadoras están muy cerca unas de otras (8K). Las portadoras pueden ser moduladas en QPSK, 16-QAM o 64-QAM.

⁵⁵ *Frame* (en comunicaciones) es un bloque fijo de datos transmitidos como una sola entidad. También es llamado *packet* (paquete). Un *frame* es variable en tamaño y puede tener miles de bytes.

⁵⁶ ASI (*Asynchronous Serial Interface*) es un formato de vídeo que normalmente transporta un flujo de datos MPEG (MPEG *Transport Stream*). Un *Transport Stream* es un protocolo de comunicación para audio, vídeo y datos especificado en los estándares de MPEG-2. Los flujos binarios de vídeo y audio de cada programa de televisión se comprimen independientemente formando cada uno de ellos una «corriente elemental» (ES – *Elementary Stream*). Cada una de estas corrientes elementales se estructura en forma de paquetes llamados PES (*Packetized Elementary Stream*). Estos paquetes de vídeo y audio, además de datos de un mismo programa, pasan posteriormente a un multiplexor donde se conforma un sólo tren binario. Para esta multiplexación, el grupo de estándares de MPEG-2 distingue entre dos posibilidades: la conformación de una «corriente de programa» (PS–*Program Stream*) y la conformación de una «corriente de transporte» (TS–*Transport Stream*).

Figura 38. Esquema del sistema de transmisión DVB-H.



3.1.3.6. DAB

DAB (*Digital Audio Broadcasting o Eureka 147*), que puede ser recibido tanto vía satélite como terrestre, es un estándar de audio digital muy extendido en Europa, Canadá y Corea del Sur, entre otros países. Es el sustituto de las antiguas radiodifusiones de audio analógico por vía FM, y puede transmitir audio digital en estéreo de alta calidad tanto a dispositivos fijos como móviles.

El sistema DAB ha sido implantado en muchos países con la consecuente asignación de frecuencias del espectro radioeléctrico para el servicio, lo que ha permitido que sirviera de modelo para la posterior introducción de otros servicios de radiodifusión de multimedia en movilidad como la televisión digital en movilidad. Un ejemplo sería el estándar DMB (*Digital Multimedia Broadcasting*), desarrollado en Corea del Sur, que está basado en el estándar DAB.

DAB emplea un *múltiplex* digital, modulación COFDM (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) y codificación con corrección de errores RS (Reed-Solomon).

El sistema de transmisión de DAB funciona combinando dos tecnologías. Primero está el sistema de compresión de sonido MUSICAM, que después se normalizó denominándose MPEG-1 Audio Capa 2 o MP2, un sistema de codificación que funciona descartando sonidos que no son percibidos por el oído humano. De esta forma, se consigue disminuir el ancho de banda que se necesita para transmitir. Es un sistema muy parecido al MP3, pero que necesita menor capacidad de procesamiento. La capacidad de transmitir información del *múltiplex* es de 2,3 Mbps, pero en realidad lo

que se tiene es un contenedor con 864 cajones que se van rellendo con los programas y datos que se emiten de forma continua. La segunda tecnología es la modulación COFDM. Consiste en un *múltiplex* por división de frecuencias ortogonales en el que se realiza una codificación. Por un lado, la codificación introduce redundancia para poder detectar los errores de transmisión y corregirlos. Además, el sistema utiliza técnicas de diversidad en el tiempo, diversidad en el espacio y diversidad en frecuencia. La diversidad en el tiempo se consigue mediante el entrelazado en el tiempo de toda la información de forma que, si hay alguna perturbación, al tener la información distribuida es posible recuperarla mejor. Con la diversidad en frecuencia, utilizando una relación matemática exacta, la señal MUSICAM es dividida entre 1536 frecuencias portadoras para conseguir que la información se distribuya de manera discontinua en todo el espectro del canal y se vea menos afectada por las perturbaciones. Y con la diversidad en el espacio, se consigue que se pueda transmitir desde diferentes centros emisores y que todos ellos contribuyan a crear una red de frecuencia única (SFN). Las interferencias que perturban la recepción de señal FM, causadas normalmente por edificios o montañas, son eliminadas por medio de la tecnología COFDM. Esto significa que una misma frecuencia puede ser utilizada en todo un país sin que sea preciso volver a sintonizar el receptor cuando se está viajando (gracias a las redes SFN).

DAB usa principalmente la Banda III y la Banda L de frecuencia, y está diseñado para la difusión de audio terrestre y mediante satélite a receptores, tanto de uso doméstico como móviles. También puede transmitir datos.

La tecnología DAB fue desarrollada en la década de 1980, aunque el proyecto comenzó en 1987 y finalizó en el 2000. Más de 285 millones de personas en todo el mundo reciben servicios DAB. El Reino Unido fue el primer país que implementó un servicio de DAB a través de la BBC y otras radioemisoras comerciales de Londres en 2001 y, posteriormente, lo hizo a nivel nacional. En febrero de 2007, se lanzó una versión actualizada llamada DAB+ que no es compatible con los equipos receptores anteriores. El DAB+ es aproximadamente tres veces más eficiente que el DAB al usar el *códec* de audio AAC+. El desarrollo y difusión del DAB está a cargo del WoldrDMB, que además promueve el estándar DMB.

Tabla 27. Códecs empleados por el sistema DAB.

Sistema	Audio	Vídeo	Codificación
DAB	MPEG <i>Layer 2</i> (MP2)	--	<i>Convolutional</i>
DAB+	AAC+, MPEG <i>Layer 2</i> (MP2)	--	<i>Convolutional</i> +RS
DAB-IP	Windows Media Audio (WMA)	Windows Media Video (WMV)	<i>Convolutional</i> +RS
DMB	BSAC, MPEG <i>Layer 2</i> (MP2)	H.264	<i>Convolutional</i> +RS

3.1.3.7. DMB

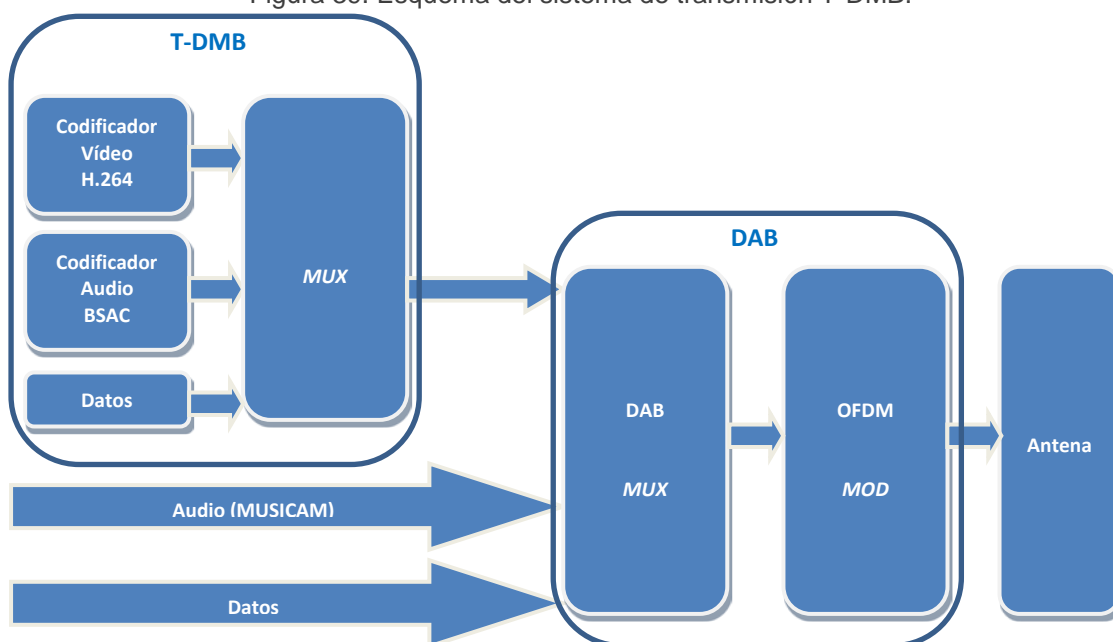
DMB (*Digital Multimedia Broadcasting*) es una evolución del sistema DAB (Eureka 147) para la difusión de servicios de televisión digital en movilidad. DMB fue formalizado por la ETSI (European Telecommunications Standards Institute) como ETSI TS 102 428. Existen dos modalidades de DMB: la terrestre (T-DMB) y la vía satélite (S-DMB).

T-DMB emplea redes terrestres para su difusión y opera en la banda III de VHF o en la banda L. S-DMB emplea la transmisión vía satélite sobre la banda L o la banda S. T-DMB fue desarrollado en Corea del Sur por el organismo estatal ETRI (Electronics and Telecommunications Research Institute). S-DMB es fruto de un desarrollo de la compañía japonesa Toshiba por medio de su filial MBCO (Mobile Broadcasting Corporation) y la compañía LK Telecom de Corea del Sur. En marzo de 2004, se lanzó el satélite MBSat1 para proveer servicios de televisión digital en movilidad bajo el sistema S-DMB. En mayo de 2005 se implementó el primer servicio S-DMB. La empresa encargada fue TU Media (filial de SK Telecom) que proveía inicialmente 12 canales de vídeo y 20 de audio. En Corea del Sur, el T-DMB entre en servicio en diciembre de 2005. T-DMB está muy extendido en Corea del Sur gracias a la implicación de los fabricantes de teléfonos móviles LG y Samsung, y a que el gobierno surcoreano asignó muy rápido frecuencias a la nueva tecnología. En Alemania, MFD (*Mobiles Fernsehen Deutschland*) lanzó un servicio comercial de T-DMB entre junio de 2006 y abril de 2008 con motivo de la Copa Mundial de Fútbol de 2006.

Los servicios DMB son una adaptación de los servicios DAB a los que añaden técnicas de corrección de errores para transportar multimedia. Los servicios DMB emplean las mismas portadoras de 1,537 MHz que DAB y su mismo espectro, lo que le da una gran

ventaja al no depender de la asignación de frecuencias en Europa y Asia para poder operar. DMB emplea MPEG-4 *part 10* (H.264) como *códec* de vídeo y MPEG-4 *part 3* BSAC (*Bit Sliced Arithmetic Coding*) o HE-AAC v2 como *códec* de audio. El audio y el vídeo son después encapsulados en un flujo de transporte MPEG-2 TS con codificación RS (Reed-Solomon) y entrelazado convolucional⁵⁷ que se transmite como datos en DAB.

Figura 39. Esquema del sistema de transmisión T-DMB.



Los servicios T-DMB fueron lanzados en Corea de Sur en 2005 cuando el gobierno otorgó a licencias de frecuencia a seis operadores (KBS, MBC, SBS, U1 Media, Korean DMB y YTN). Cada banda licenciada tenía un ancho de 1,54 MHz, lo que permitía transportar 1,15 Mbps de datos capaces de proporcionar vídeo con calidad VCD (352x288) a 30 fps. T-DMB también puede transportar audio con calidad de CD (DAB MUSICAM) y datos. Los servicios T-DMB son gratuitos en Corea del Sur.

3.1.3.8. CMMB y CDMB

La televisión digital en movilidad sobre redes terrestres fue lanzada China con motivo de los Juegos Olímpicos de Beijing en 2008 basándose en el estándar CMMB (*China*

⁵⁷ El entrelazado convolucional se realiza con el fin de segmentar y repartir las ráfagas prolongadas de errores, facilitando así su posterior detección y corrección en recepción. La combinación de la codificación Reed-Solomon y el entrelazado convolucional permiten la detección de símbolos erróneos.

Mobile Multimedia Broadcasting) desarrollado por la SARFT (State Administration of Radio, Film, and Television). China tiene varios estándares para dar servicios de televisión digital en movilidad, todos basados en tecnologías y estándares aprobados por los organismos chinos de estandarización.

DTMB (*Digital Terrestrial Multimedia Broadcast*) es un estándar chino para servicios de televisión digital, tanto fijos como en movilidad, que emplea todo tipo de resoluciones, desde las más bajas a la alta definición. DTMB surge de la fusión entre los estándares ADTB-T (desarrollado por la Universidad de Shanghai Jiao Tong, Shanghai), DMB-T (desarrollado por la Universidad Tsinghua, Beijing) y el TiMi (*Terrestrial Interactive Multiservice Infrastructure*), que es el estándar que propuso la Academia de Ciencias de Radiodifusión en el año 2002.

CDMB (*China Digital Multimedia Broadcasting*) es un estándar de televisión digital en movilidad basado en el sistema DAB (*Digital Audio Broadcasting*). Emplea un *códec* de audio y vídeo basado en el sistema AVS (*Audio Video Standard*) desarrollado por el gobierno chino al amparo de la CNSA (China National Standardization Administration). Las compañías chinas poseen el 90% de las patentes del sistema AVS, que fue desarrollado para reducir el pago de regalías por el uso de licencias a compañías extranjeras, potenciar el nivel internacional la electrónica china y permitir que los productos tecnológicos chinos lleguen a un mercado de masas. CDMB ha sido aprobado como estándar para la difusión de servicios de televisión digital en movilidad por la SARFT.

CMMB (*China Mobile Multimedia Broadcasting*) es un estándar chino para televisión digital en movilidad aprobado por la SARFT que se basa en la transmisión de la señal por satélite a repetidores terrestres. Emplea una tecnología llamada STiMi (*Satellite and Terrestrial Interactive Multiservice Infrastructure*) desarrollada por la compañía TiMiTech que creó la Chinese Academy of Broadcasting Science. CMMB es muy parecido en su funcionamiento al estándar DVB-SH (*Digital Video Broadcasting-Satellite Handheld*). Se basa en el empleo de la franja de frecuencias en torno a los 2,6 GHz de la banda S, lo que le permite acomodar 12 Mbps de datos en un ancho de banda de 25 MHz, dando cabida a entre 25 y 30 canales de vídeo (QVGA o QCIF) y 30

canales de audio. Una vez la señal ha alcanzado los repetidores terrestres, estos emplean las frecuencias de la banda UHF entre los 470 y los 798 MHz. La compañía CMMB Vision Holdings anunció a finales de 2014 su acuerdo con una compañía estadounidense para lanzar dos satélites con la intención de proporcionar en un futuro servicios multimedia a China y otros mercados asiáticos.

Existen en China otros estándares como TD-MBMS (*Time Division-Multimedia Broadcast Multicast Service*), una tecnología de difusión de televisión digital en modo *multicasting* amparada por el Departamento de Telecomunicaciones chino que emplea las redes 3G y está basada en la tecnología TD-SCDMA (*Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access*); o CMB (*Cell Multimedia Broadcast*), un sistema propietario de la compañía china Huawei, precursor de MBMS (*Multimedia Broadcast Multicast Service*) y reconocido por 3GPP.

3.1.3.9. MediaFLO

FLO (*Forward Link Only*) es una tecnología para la difusión de televisión digital en movilidad en modo *multicast* desarrollada por la compañía estadounidense Qualcomm y comercializada bajo el nombre de MediaFLO. Las operadoras Verizon Wireless y AT&T han lanzado servicios de televisión digital en movilidad con tecnología MediaFLO en los Estados Unidos bajo los nombres comerciales de VCAST Mobile TV Services y AT&T Mobile TV Services, respectivamente. Qualcomm posee los derechos de explotación de una franja del espectro UHF correspondiente a los 716-722 MHz que han sido empleados para implementar MediaFLO.

La tecnología FLO utiliza OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) como técnica de modulación, además de sistemas de corrección de errores como códigos convolucionales⁵⁸ y códigos RS (Reed-Solomon). Concretamente, el sistema FLO utiliza un modo 4K (4096 subportadoras) y una modulación para cada subportadora en QPSK o 16-QAM. Estas 4096 portadoras ocupan un total de 5,55 MHz, lo que corresponde con un espaciado de $5,55 \text{ MHz} / 4096 = 1,355 \text{ kHz}$. Este espaciado entre portadoras nos asegura que el Efecto Doppler no provocará un error de paquete de más

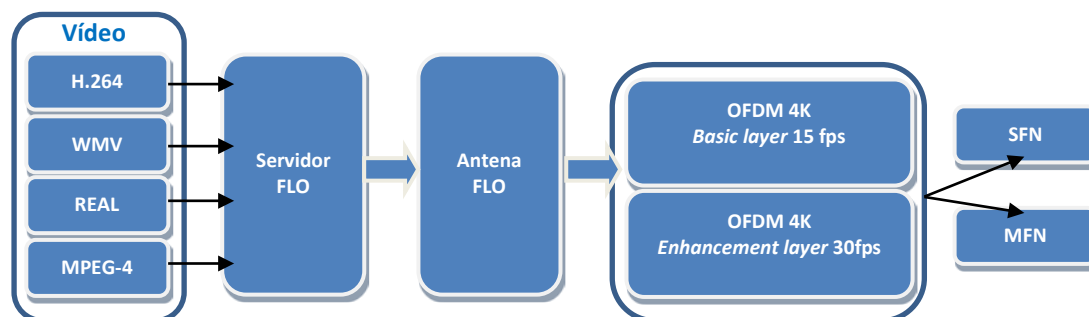
⁵⁸ Un código convolucional es un tipo de código de detección de errores donde cada *símbolo* de m bits de información se transforma, al ser codificado, en un símbolo de n bits, donde m/n es la tasa del código ($n \geq m$). La transformación es función de los k *símbolos* anteriores donde k es la longitud del código. Se utilizan para proteger la información añadiendo redundancia a la misma, de manera que las palabras del código tengan la distancia mínima necesaria.

de un 1% a velocidades de hasta 120 km/h. Con el sistema utilizado en MediaFLO se asegura calidad de recepción hasta una velocidad de 200 km/h. De estas 4096 subportadoras, la portadora 2048 no se transmite, ya que corresponde a la continua, y 95 de las 4095 restantes son portadoras de guarda, que están por los dos extremos de la banda. Por lo tanto, se obtienen un total de 4000 portadoras activas que serán moduladas con información útil o para la estimación del canal.

El sistema MediaFLO tiene un canal de control con la información de los parámetros de la transmisión y la configuración de la radiofrecuencia para garantizar la calidad del servicio (QoS). Los sistemas de codificación de la señal altamente eficientes, así como las técnicas de corrección de errores, permiten a MediaFLO una eficacia de transmisión de hasta 12 Mbps en una banda de 6 MHz, lo que se traduce en más de 30 canales de televisión en directo (QVGA a 30 fps), 10 canales de audio (HE AAC+), datos multimedia y vídeo bajo demanda.

El sistema MediaFLO está preparado para degradar la calidad de la señal (de 30 fps a 15 fps) en caso de condiciones pobres de recepción o ruido. El empleo de la banda UHF permite a MediaFLO realizar emisiones de alta potencia capaces de cubrir en algunos casos un área de 50 km de radio, lo que es más de lo que permiten tecnologías como DVB-H o ATSC M/H; y está en oposición a estándares que realizan emisiones de baja frecuencia como DMB-S, que debe recurrir a múltiples repetidores para poder cubrir un área metropolitana. MediaFLO emite en SFN (*Single Frequency Network*) con sincronización entre transmisores y anchos de banda de 5, 6, 7 y 8 MHz.

Figura 40. Esquema del sistema de transmisión MediaFLO.



MediaFLO también tiene en cuenta las limitaciones energéticas de los dispositivos móviles, y permite que el receptor acceda sólo a la parte de la señal que incluye los

datos del canal que está reproduciendo en ese momento. Emplea una tecnología llamada OIS (*Overhead Information Symbol*) que permite a los usuarios cambiar de canal en menos de 1,5 segundos.

Aunque MediaFLO es una tecnología optimizada para UHF, no está restringida a la banda de los 700 MHz, sino que podría operar en cualquier frecuencia entre los 300 MHz y los 1,5 GHz.

En octubre de 2010, Qualcomm anunció el fin de la comercialización de los servicios MediaFLO a sus consumidores. En diciembre de 2010, AT&T anunció que iba a adquirir las licencias del espectro de banda de Qualcomm. El servicio de FLO TV cesó el 27 de marzo 2011.

3.1.3.10. ISDB-T

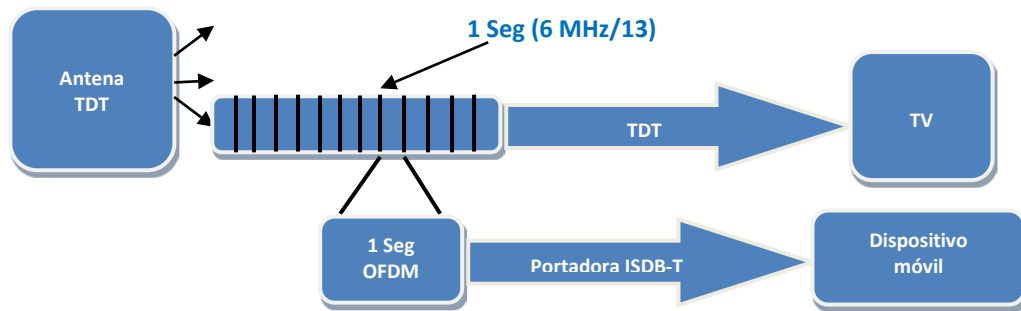
ISDB (*Integrated Services Digital Broadcasting*) es un conjunto de normas creadas en Japón para las transmisiones de radio y de televisión digital. ISDB está conformado por una familia de componentes, siendo el más conocido el estándar de televisión digital terrestre (ISDB-T). Los servicios de televisión digital terrestre comenzaron en Japón en diciembre de 2003, y desde entonces han venido reemplazando a las difusiones en televisión analógica en formato NTSC.

Los servicios de televisión digital en movilidad basados en el estándar ISDB-T comenzaron en Japón en el 2006 empleando una tecnología llamada 1 Seg o 1 segmento porque empleaba uno de los 13 segmentos en que se divide un canal de ISDB-T de 6 MHz. La operadora NHK Japan lanzó los primeros servicios de televisión digital en movilidad de manera gratuita, lo que provocó que el número de usuarios creciera rápidamente dado el gran número de dispositivos móviles con capacidad ISDB-T que ya existía en el mercado. A mediados de 2009, había en Japón más de 50 millones de dispositivos con sintonizador ISDB-T, y el 85% de los dispositivos que se fabricaban para el mercado japonés incorporaban el sintonizador, lo que convierte a Japón en un caso de estudio único para la implantación de la televisión digital en movilidad.

ISDB-T emplea MPEG-4/AVC como *códec* de vídeo con 15 fps y resolución QVGA (320x240). MPEG-2 AAC es el *códec* de audio con una frecuencia de muestreo de

24,48 kHz. Un segmento (1 Seg) de ISDB-T tiene un ancho de banda de $6 \text{ MHz}/13=428 \text{ kHz}$ que proporciona una tasa de transmisión de datos de unos 312 kbps con modulación QPSK. Los 312 kbps se suelen distribuir en: 180 kbps para vídeo, 48 kbps para audio y 80 kbps para datos.

Figura 41. Esquema del sistema de transmisión ISDB-T.



Japón es el país donde más éxito ha tenido la implantación de la televisión digital en movilidad gracias a la alta disponibilidad de dispositivos con sintonizador ISDB-T, a que los servicios de la televisión digital en movilidad emplean el mismo espectro que los de la televisión digital terrestre y a que el servicio es gratuito. ISDB-T también tiene otras ventajas, como la capacidad de programar localmente con gran precisión gracias a que la portadora 1 Seg es independiente del transmisor central y puede ser enviada desde cualquier emisor, o porque incorpora un sistema para poder efectuar compras y pagos desde el dispositivo. Aquellos dispositivos móviles que incorporan el *chip* (FeliCa o cartera móvil) disfrutan además de seguridad en sus transacciones.

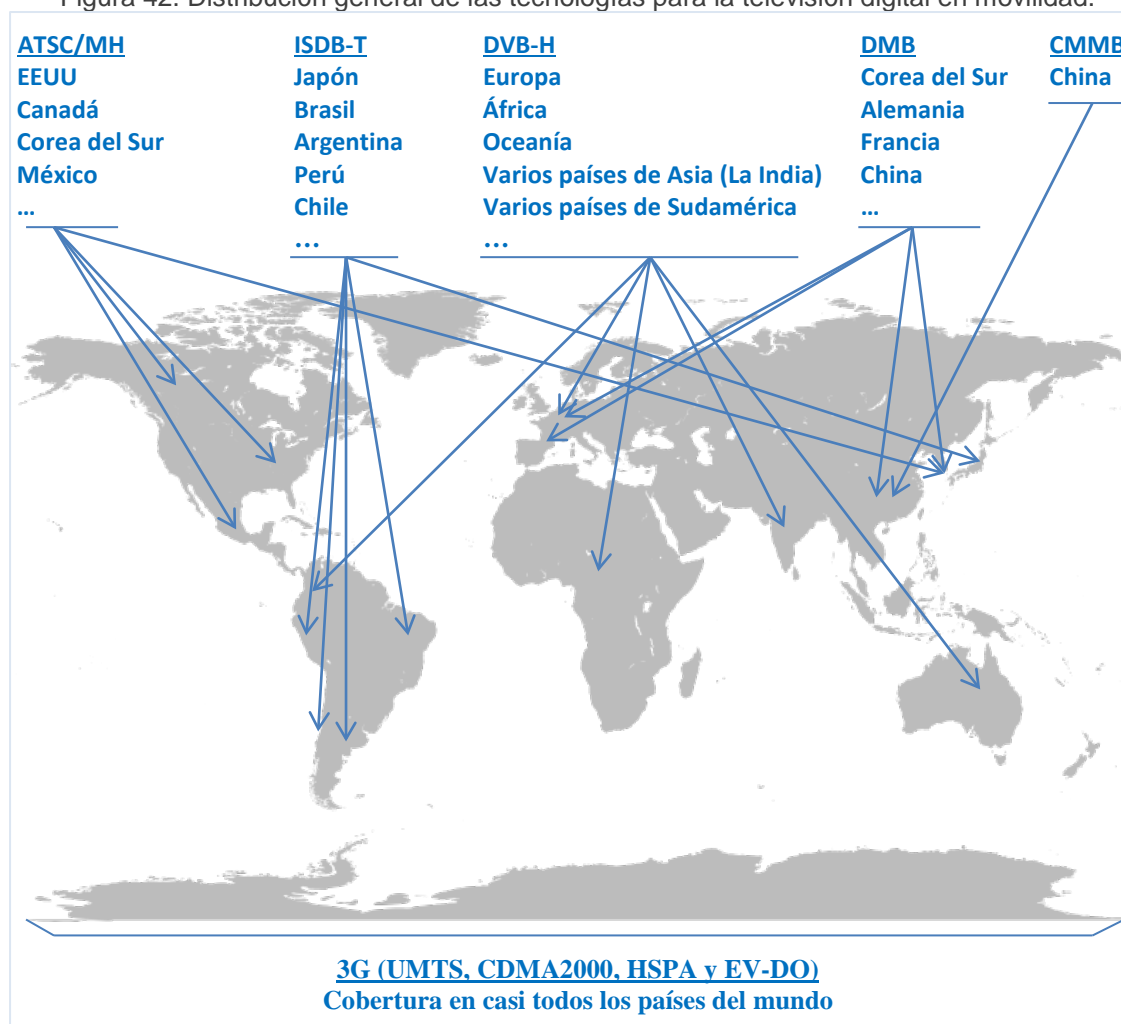
ISDB-T, con algunas modificaciones o en alguna de sus variantes, es el estándar adoptado por Brasil para la difusión de televisión digital terrestre. También ha sido adoptado como estándar por muchos países sudamericanos como Argentina, Chile, Uruguay y Perú.

3.1.4. Distribución de las tecnologías por países

Los servicios de televisión digital en movilidad se están implantando en todo el mundo, pero con gran variedad en lo referente a las tecnologías y estándares empleados. Pese a que Europa y Asia han optado mayoritariamente por el estándar DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*), Corea del Sur ha conseguido implantar con éxito el sistema

T-DMB (*Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting*), que también han utilizado países europeos como Alemania e Italia. Estados Unidos es el territorio del sistema ATSC M/H (*Advanced Television Systems Committee Mobile/Handheld*) y lo fue de MediaFLO (*Media Forward Link Only*) antes. Japón, además de ser uno de los países pioneros con su sistema ISDB-T 1 Seg (*Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial 1 Segment*), ha conseguido extender su tecnología por varios países de Sudamérica. A continuación, se muestra un mapa que refleja someramente la distribución de las principales tecnologías para la televisión digital en movilidad por países y continentes.

Figura 42. Distribución general de las tecnologías para la televisión digital en movilidad.



3.1.5. Comparativa de los estándares de radiodifusión para la televisión digital en movilidad

Comparar los distintos estándares para la televisión digital en movilidad resulta muy complicado, ya que su éxito no depende sólo de sus características tecnológicas, sino que hay que tener en cuenta factores externos como la disponibilidad de espectro radioeléctrico, la implantación de otros estándares en el mismo territorio, la colaboración de las operadoras de señal y la regulación local, entre otros. Además, los sistemas que basan su transmisión en el modo *unicast* son completamente diferentes de aquellos que funcionan en modo *multicast* o *broadcast*. Aun así, existen varios parámetros comunes que se suelen tener en cuenta a la hora de evaluar las capacidades de estas tecnologías:

- La robustez de la señal y la calidad de la transmisión, tanto en exteriores como en interiores.
- Los sistemas de ahorro de energía.
- Los requisitos que debe cumplir el dispositivo para soportar el servicio.
- La utilización eficiente del espectro radioeléctrico.
- Los costes operativos del servicio.
- El tiempo requerido para cambiar de canal.
- Los requisitos para la recepción.
- La cobertura y la posibilidad de *roaming*.
- El tipo de servicio ofertado.

Los sistemas de televisión digital en movilidad basados en las redes 3G son capaces de proporcionar servicios de transmisión de televisión en *streaming* con calidad a partir de los 300 kbps de capacidad de transmisión de datos, que es el equivalente en datos a diez llamadas de voz en la misma red. El problema de la televisión en *streaming* en redes 3G es que el usuario utiliza un porcentaje grande de ancho de banda cada vez que inicia una sesión, y que su proveedor de servicios de telefonía probablemente le va a cobrar por ello salvo que disponga de un contrato de tarifa plana. Otro problema surge en los casos en que se producen eventos importantes, de los que generan millones de espectadores, ya que la red 3G no puede soportar tantos usuarios simultáneamente.

Las redes 3G no pueden soportar múltiples usuarios viendo televisión en *streaming* a la vez debido a la naturaleza *unicast* de su conexión. Se están estudiando alternativas a la conexión *unicast* como el sistema MBMS (*Multimedia Broadcast Multicast Service*), diseñado para proporcionar servicios de transmisión *multicast* y *broadcast* sobre redes de telefonía móvil, pero que todavía no han sido implementados por ninguna operadora del mundo.

Las tecnologías basadas en redes 3G también presentan algunas ventajas frente a sus competidoras, como una cobertura que alcanza a prácticamente todas las regiones del mundo, o que la naturaleza *unicast* del servicio proporciona mejor soporte para algunas aplicaciones como el vídeo bajo demanda. La mayoría de dispositivos móviles del mundo probablemente se encuentran en una zona con cobertura 3G, y no necesitan ningún equipamiento extra especial como sintonizadores o antenas para poder recibir servicios de televisión digital en movilidad. Las capacidades de interoperabilidad entre redes y el *roaming* son sencillas de implementar en las redes 3G. Por último, la existencia de un canal de retorno en el modo *unicast* resulta fundamental a la hora de poder implementar servicios de interactividad, siendo éste uno de los mayores puntos fuertes de estas tecnologías.

DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*) está diseñado para poder integrarse en las redes de DVB-T, aprovechando así las infraestructuras previas y ahorrando en costes de implementación. También incluye una técnica de ahorro de energía llamada *time-slicing* y su técnica de modulación en 4K le da una mayor resistencia al Efecto Doppler a la hora de transmitir en un entorno en movilidad. DVB-H está basado en tecnología IP *Datacast*⁵⁹, lo que le permite operar en redes con arquitectura IP. ATSC M/H (*Advanced Television Systems Committee Mobile/Handheld*) es igual que DVB-H en diseño, sólo que desarrollado para aprovechar la infraestructura DTV (*Digital Television*) de ATSC.

Sin embargo, DVB-H tiene algunas desventajas como una señal menos robusta que otros estándares y una relación señal/ruido menor. Además, el tiempo de cambio entre

⁵⁹ IPDC son las siglas de *Internet Protocol Datacast*. Es el nombre que recibe un nuevo sistema de radiodifusión que permite emitir todo tipos de contenidos digitales a aparatos móviles. Está basado en IP añadiendo las mejoras necesarias para hacer más eficiente la distribución y recepción de este tipo de datos. Esta tecnología está definida por DVB.

canales es muy largo debido a que el sistema *time-slicing* mantiene el sintonizador apagado el 80% del tiempo. DVB-H depende del uso del canal de retorno de las redes móviles para poder ofrecer servicios de interactividad pero, dado la naturaleza *broadcast* de su sistema de transmisión, no es un estándar muy adecuado para aplicaciones interactivas.

Una ciudad puede tener cobertura de televisión digital terrestre con sólo una o dos torres de transmisión. La capacidad de recepción en interiores de una señal de televisión digital en movilidad implica que ésta debe de ser muy potente, o provenir de una fuente de transmisión muy cercana como un repetidor.

T-DMB (*Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting*) está basado en el estándar DAB (*Digital Audio Broadcasting*) de audio y ha heredado un sistema muy robusto de corrección de errores, así como la capacidad de funcionar en entornos de alta movilidad, como en vehículos moviéndose a más de 200 km/h, gracias al uso que hace de la banda VHF. T-DMB no utiliza ninguna tecnología concreta para la reducción del consumo energético más allá de emplear un ancho de banda muy pequeño en comparación con otras tecnologías como DVB-H, pero aun así consume más energía que este último.

Tabla 28. Características de los estándares de televisión digital en movilidad sobre redes terrestres.

Sistema	Formatos Audio/Vídeo	Flujo de transporte	Ancho de banda	Ahorro batería
DVB-H	MPEG-4, WMV, AAC y WMA	IP MPEG-2 COFDM QPSK o 16-QAM	5-8 MHz	<i>Time-slicing</i>
T-DMB	MPEG-4 BSAC	MPEG-2 FDM DQPSK	1,54 MHz (Corea)	<i>Bandwidth reduction</i>
ISDB-T	MPEG-4 AAC	MPEG-2 COFDM QPSK o 16-QAM	4,33 MHz (Japón)	<i>Bandwidth reduction</i>

MediaFLO es un estándar que fue diseñado desde un principio para la televisión digital en movilidad sin basarse en ningún estándar previo. Emplea tecnología OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) para transmitir su señal que es muy robusta. También supera a sus competidores en velocidad de cambio de canal y dispone de ESG (*Electronic Service Guide*). MediaFLO permite a sus usuarios la recepción en el

límite de la cobertura mediante un degradado de la señal e incorpora tecnologías para el ahorro de batería.

Los primeros años de la implantación de la televisión digital en movilidad en el mundo han estado dominados por las tecnologías 3G. Sólo otras dos tecnologías han tenido un éxito de implantación considerable: DMB en Corea del Sur e ISDB-T 1 Seg en Japón. En ambos casos, uno de los factores determinantes del éxito ha sido la alta disponibilidad en el mercado de dispositivos con el sintonizador adecuado. La mayoría de dispositivos móviles vendidos en Japón o Corea del Sur incluyen sintonizadores ISB-T y DMB respectivamente. En el caso de la tecnología 3G, no son necesarios sistemas suplementarios gracias a la estandarización que proporciona 3GPP.

Ninguna otro sistema para la televisión digital en movilidad ha conseguido una implantación significativa en el mundo, ni siquiera DVB-H.

MediaFLO, que comenzó su implantación en Estados Unidos con gran pujanza, ha desaparecido, mientras que ATSC M/H ha recogido el testigo y parece que quiere dominar el mercado norteamericano.

Es difícil predecir qué va a ocurrir en el futuro con estos estándares dado la cantidad de factores y actores que intervienen en su implantación: licencias, disponibilidad de frecuencias, legislación, fabricantes de dispositivos, operadores de señal, creadores de contenidos, etc. Lo que sí es seguro es que el consumo de servicios multimedia no hace más que aumentar, y que la interactividad y los nuevos modelos de teléfonos móviles jugarán un papel determinante en el futuro de estos estándares tecnológicos.

Tabla 29. Comparación de los estándares de televisión móvil en *broadcast*.

Sistema	Interfaz	Familia	Capacidad	Consumo batería	Cambio canal
DVB-H	DVB-T COFDM	DVB	12 Mbps (8 MHz)	4 horas (850 mAh)	5 seg
ATSC M/H	8-VSB	ATSC	19,39 Mbps (6 MHz)	4 horas (850 mAh)	5 seg
MediaFLO	CDMA Qualcomm	Qualcomm	11 Mbps (6 MHz)	4 horas (850 mAh)	1,5 seg
T-DMB	TDAB COFDM	ETSI DAB	1,5 Mbps (1,54 MHz)	2 horas (850 mAh)	1,5 seg
S-DMB	CDMA (Propietario)	ETSI	7 Mbps (25 MHz)	2,5 horas (850 mAh)	5 seg
1 Seg	BST-OFDM	ISDB	312 kbps (428 kHz)	4 horas (850 mAh)	5 seg
MBMS	UTRA WCDMA	3GPP	384 kbps (5 MHz)	4 horas (850 mAh)	--

3.2. INFRAESTRUCTURA PARA LA IMPLANTACIÓN DE LA TELEVISIÓN DIGITAL EN MOVILIDAD Y ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

Todas las tecnologías de transmisión que funcionan sin cables dependen del uso del espectro radioeléctrico para funcionar. El espectro radioeléctrico es un recurso limitado ya desde el origen de las primeras transmisiones de radio. Los servicios de televisión digital en movilidad sobre ondas terrestres requieren de la transmisión de contenidos en QCIF o QVGA codificados mediante estándares como MPEG-4, H.263, Windows Media Video o H.264/AVC, por citar algunos, en flujos de transporte que suelen variar entre los 64 kbps y los 384 kbps de ancho de banda dependiendo de la tecnología empleada. Los operadores de servicios basados en las distintas tecnologías como 3G, DAB (*Digital Audio Broadcasting*), wireless LAN (*Local Area Network*), DVB-T (*Digital Video Broadcasting–Terrestrial*), ATSC (*Advanced Television Systems Committee*), entre otros, han optado por distintas soluciones para poder acceder y emplear eficientemente el espectro radioeléctrico.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) se encarga de coordinar a nivel mundial las adjudicaciones del espectro radioeléctrico a través de las WRCs (World Radiocommunication Conferences anteriormente llamadas WARC), que se celebran periódicamente y funcionan como reuniones consultivas en las que se decide qué bandas del espectro se asignan a qué servicios, mientras que se deja la asignación de frecuencias concretas a los gobiernos locales. Las frecuencias específicas para un servicio varían entre países, pero se suelen organizar bajo el principio de optimización de los recursos, no interferencia con otros usuarios e implantación de nuevos servicios. No obstante, se hace necesario el coordinar todos estos esfuerzos a nivel internacional. La asignación de frecuencias de espectro radioeléctrico también depende, en gran medida, de las especificaciones técnicas del servicio y del estándar tecnológico empleado.

La mayor dificultad a la hora de asignar frecuencias del espectro radioeléctrico radica en la continua evolución de las tecnologías implicadas: teléfonos móviles, 3G, WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*), WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), la televisión digital terrestre, la televisión digital en movilidad, etc. Esta constante evolución tecnológica exige consumir cada vez más espectro radioeléctrico cuya asignación debe de ser coordinada. Las recomendaciones de la UIT hacen posible que muchos de estos servicios puedan ser accesibles de manera uniforme en todo el mundo. Un ejemplo sería la asignación global de las franjas de los 800 MHz y los 1800 MHz a los servicios GSM (*Global System for Mobile communications*), lo que permite el *roaming* a escala mundial. Existen excepciones como en el mismo caso de la tecnología GSM, que en los Estados Unidos, por razones históricas, tiene asignada la franja de los 1900 MHz.

3.2.1. El espectro radioeléctrico

A continuación, se repasan los servicios en movilidad más comunes y las distintas bandas de frecuencia que tienen asociados en las distintas partes del mundo. Parte de la dificultad de asignar frecuencias a servicios determinados estriba en que la mayoría de los dispositivos móviles son multifunción, y requieren de antenas y sintonizadores capaces de trabajar en distintas bandas para poder funcionar en GSM, GPRS, EDGE, 3G, y Wi-Fi, por poner como ejemplo a un *smartphone* común. Estos dispositivos

sirven para proporcionar múltiples servicios como conversación por voz, transmisión de datos, correo electrónico, reproducción de vídeo y audio en *streaming*, o *e-commerce*, por citar algunos. Además de las antenas y sintonizadores, los dispositivos móviles deben de estar equipados con *chips* (microprocesadores) capaces de trabajar con portadoras en múltiples bandas. Por último, los servicios de multimedia en movilidad, como la televisión digital móvil, pueden emplear múltiples vías y tecnologías para su radiodifusión como DVB-H, ATSC M/H, T-DMB o ISDB-T 1 Seg, añadiendo complejidad e importancia a la asignación de bandas de frecuencia del espectro radioeléctrico.

3.2.1.1. Frecuencias para servicios 2G

Los sistemas inalámbricos digitales de alta capacidad comenzaron a desarrollarse en Europa, Norteamérica y Japón en la década de los noventa con enfoques y restricciones diferentes. Con el objetivo de armonizar los nuevos servicios ofrecidos, la Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT), en su documento *ITU-R M.1073-1* de 1997, incluyó las recomendaciones para las características técnicas y operativas, tanto nacionales como internacionales, para los sistemas de telecomunicaciones inalámbricos digitales por ondas terrestres. El documento contemplaba la introducción de la tecnología digital en cinco áreas de las telecomunicaciones: la modulación digital de la señal de radio, la codificación digital de la voz, el procesamiento digital de la señal, la introducción de datos en formatos digitales, y los servicios de privacidad y autenticación.

Tabla 30. Asignación de bandas de frecuencia para servicios en movilidad 2G y 2.5G según la recomendación *ITU-R M.1073-1*.

Banda	Frecuencias	Uso
800 MHz	824-849 / 869-894 MHz	CDMA
900 MHz	880-890 / 890-915 / 925-935 / 935-960 MHz	GSM
1800 MHz	1710-1785 / 1805-1880 MHz	GSM
1900 MHz	1850-1910 / 1930-1990 MHz	IMT-2000

3.2.1.2. Frecuencias para servicios 3G

El espectro de radiofrecuencia para los servicios multimedia bajo el estándar IMT-2000 (3G) fue normalizado por las WRC (World Radiocommunication Conferences) de 1992

y 2000, y recogido por la normativa ITU M.1036.

Tabla 31. Asignación de bandas de frecuencia para servicios multimedia en IMT-2000 según la normativa ITU M.1036.

WRC	ITU M.1036
WARC 1992	1885-2025 / 2110-2200 MHz
WRC 2000	806-960 / 1710-1885 / 2500-2690 MHz

Las frecuencias para servicios IMT-2000 no fueron asignadas por tecnologías específicas. En su lugar, se tuvo en cuenta el interfaz de conexión empleado para proveer los servicios. Se decidió que las distintas tecnologías IMT-2000 disponibles emplearían cuatro interfaces de conexión diferentes, hasta que el WRC 07 añadió una quinta:

- 3G-GSM. Tecnologías UMTS.
- 3G-CDMA. Tecnologías CDMA2000.
- TDMA (*Time Division Multiple Access*). Estados Unidos.
- DECT (*Digital Enhanced Cordless Telecommunications*). Telecomunicaciones Inalámbricas Mejoradas Digitalmente.
- OFDMA-TDD (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access-Time Division Duplex*). WiMAX. Añadida por el WRC 07.

3.2.2. Las WRCs

Las WRC (World Radiocommunication Conferences o Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones) se celebran cada tres o cuatro años y su labor consiste en examinar y, en caso necesario, modificar el *Reglamento de Radiocomunicaciones*, que es el tratado internacional por el cual se rige la utilización del espectro de frecuencias radioeléctricas y de las órbitas de los satélites geoestacionarios y no geoestacionarios. Las modificaciones se realizan sobre la base de un orden del día determinado por el Consejo de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), que tiene en cuenta las recomendaciones formuladas por las Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones anteriores.

Los temas generales del orden del día de las Conferencias Mundiales de

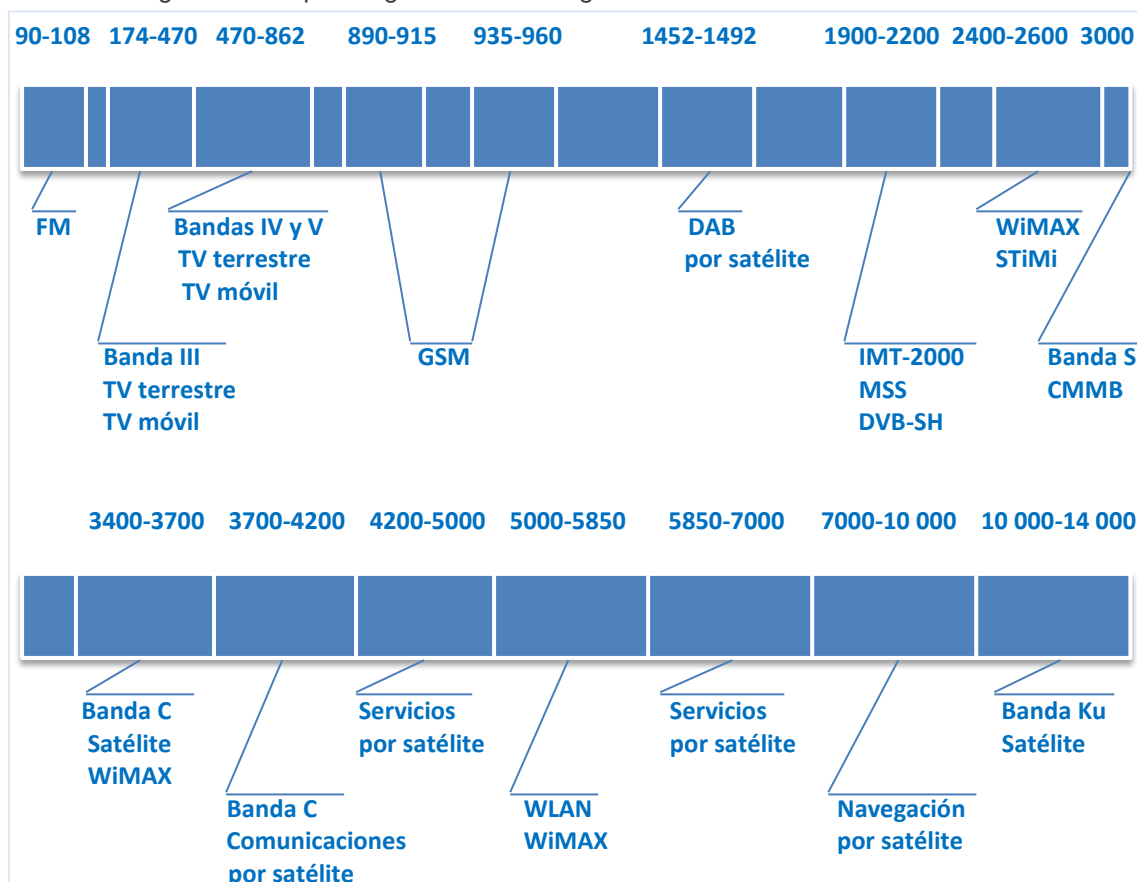
Radiocomunicaciones se determinan con una antelación de cuatro a seis años, y el Consejo de la UIT establece el orden del día final dos años antes de la conferencia con el acuerdo de la mayoría de los estados miembros.

De conformidad con la *Constitución de la UIT*, la WCR podrá:

- Revisar el *Reglamento de Radiocomunicaciones* y cualquiera de los planes correspondientes de asignación y adjudicación de frecuencias.
- Examinar cualquier asunto de radiocomunicaciones de carácter mundial.
- Formular instrucciones dirigidas a la Junta del Reglamento de Radiocomunicaciones y a la Oficina de Radiocomunicaciones, y revisar sus actividades.
- Determinar las cuestiones que han de ser objeto de estudio por la Asamblea de Radiocomunicaciones y sus Comisiones de Estudio como parte de los trabajos preparatorios para futuras Conferencias de Radiocomunicaciones.

Basándose en las contribuciones de las administraciones, de la Comisión Especial, de las Comisiones de Estudio de las Radiocomunicaciones y de otras fuentes relacionadas con los temas reglamentarios, técnicos, de explotación y de procedimiento que examinarán las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones (*Artículo 19 del Convenio de la UIT de Ginebra de 1992*), la Reunión Preparatoria de Conferencias (RPC) preparará un informe refundido que se utilizará como base para el trabajo de dichas conferencias.

Figura 43. Esquema general de la asignación de frecuencias en el mundo.



La Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (WCR-07) se reunió en Ginebra del 22 de octubre al 16 de noviembre de 2007 y tomó varias resoluciones respecto a la asignación del espectro radioeléctrico de la banda UHF que el proceso de digitalización de la señal de televisión estaba dejando libre. Entre las decisiones tomadas figuraba que:

- La banda de los 790-862 MHz fuera reservada en Europa, Oriente Medio y Asia (Región 1) para los servicios en movilidad con el 2015 como fecha límite para implementar la asignación de frecuencias.
- La banda de los 698-806 MHz fuera reservada para en el continente americano (Región 2) para los servicios en movilidad con efecto inmediato.
- La banda de los 790-862 MHz sería la asignada para servicios en movilidad en los países de la zona Asia-Pacífico (Región 3), con la excepción de: Bangladés, China, Corea del Sur, la India, Japón, Nueva Zelanda, Papúa Nueva Guinea, Filipinas y Singapur.
- El resto de países emplearían la banda 698-790 MHz.

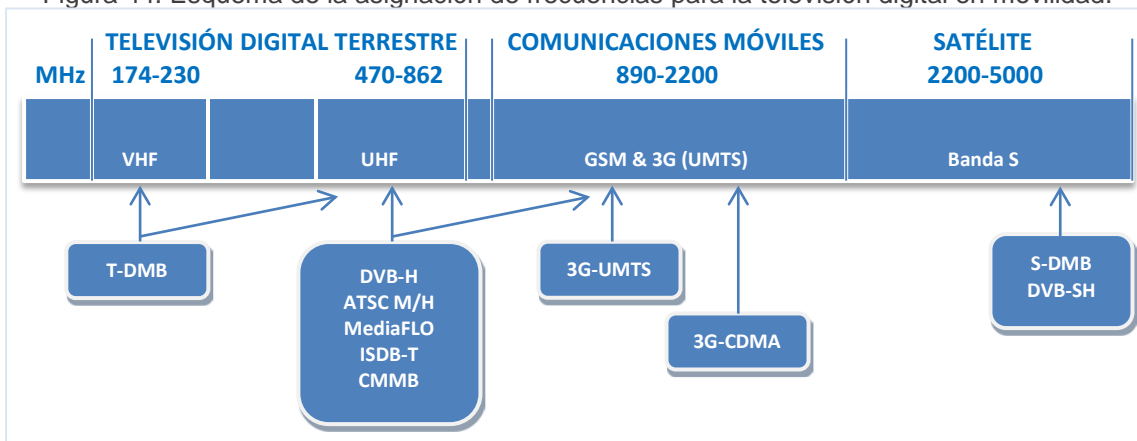
- A China se le pidió que liberase su banda de 790-862 MHz para los servicios en movilidad antes del 2015.

3.2.3. El espectro radioeléctrico para la televisión digital en movilidad

La mayoría de servicios de radiodifusión originales, tanto analógicos como digitales, operaban en las bandas VHF, UHF, III, IV y V, que comprenden desde los 174 a los 862 MHz.

La transición de los sistemas analógicos de transmisión a los digitales ha supuesto muchísima presión para los canales VHF y UHF en todo el mundo, ya que durante un tiempo han tenido que sostener las emisiones en analógico y digital simultáneamente. Sin embargo, los países que ya han completado su «Apagón Analógico» se han encontrado con que ahora disponen de más espacio radioeléctrico como resultado de la mayor eficiencia de las emisiones de televisión digital terrestre, dando lugar al llamado «Dividendo Digital» que ha sido asignado, en la mayoría de los casos, a las comunicaciones móviles. En España, en 2005 comenzaron las emisiones de televisión digital terrestre que culminaron el 3 de abril de 2010 con el llamado «Apagón Analógico» por el que finalizó la emisión de televisión analógica en nuestro país.

Figura 44. Esquema de la asignación de frecuencias para la televisión digital en movilidad.



Los servicios de televisión digital en movilidad son asignados prioritariamente a frecuencias que se encuentran en las bandas VHF y UHF. Uno de los motivos es la necesidad de dejar espacio libre para los servicios 3G. Los servicios 3G no fueron concebidos originariamente para un uso masivo de Internet y servicios multimedia,

tienen una tasa de transmisión de datos limitada y su naturaleza *unicast* ha provocado que la cada vez mayor demanda de servicios multimedia esté saturando las limitadas redes 3G.

Los operadores de televisión digital terrestre, por su parte, han intentado llevar los servicios de televisión digital en movilidad a las bandas VHF y UHF en las que ya venían operando. Los estándares DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*) y ATSC M/H (*Advanced Television Systems Committee Mobile/Handheld*) emplean las mismas bandas de frecuencia que sus tecnologías originales (DVB-T y ATSC). Todo esto ha limitado el potencial de crecimiento de los servicios de televisión digital en movilidad, ya que resulta difícil el obtener más espacio radioeléctrico libre en la saturada banda UHF.

Otros operadores de servicios de televisión digital en movilidad han optado por utilizar frecuencias que ya estaban asignadas como DMB (*Digital Media Broadcasting*) que emplea las mismas frecuencias que DAB (*Digital Audio Broadcasting*), o MediaFLO (*Media Forward Link Only*) que se aprovechó de que Qualcomm había ganado el concurso de asignación de la banda de los 700 MHz en los Estados Unidos.

A día de hoy, el crecimiento de las redes de transmisión móviles ha superado todas las expectativas. El mayor consumo de ancho de banda de la red se debe a la navegación en Internet desde los dispositivos móviles. Incluso la implantación de los servicios de televisión digital en movilidad, especialmente sobre tecnologías IMT-2000, ha sido mucho más rápido de lo esperado.

La televisión digital en movilidad normalmente es transmitida pensando en dispositivos que funcionan en las bandas de los 800, 1800 y 1900 MHz. La recepción de otro tipo de frecuencias probablemente requeriría de otro tipo de antena. Además, cuanto más baja es una frecuencia de transmisión, más larga debe de ser la antena que la reciba. Por otro lado, las frecuencias altas son más susceptibles al Efecto Doppler y a las pérdidas. Otro factor a tener en cuenta sería la pérdida de trayectoria de la señal, que crece a medida que aumenta la frecuencia, siendo mayor a 2 GHz (3G) que a 0,5 GHz (UHF). Además, hay que considerar la capacidad de penetración de la señal en interiores, que disminuye cuánto más alta es la frecuencia. Por último, la señal de televisión digital en movilidad

necesita mucho ancho de banda (hasta 8 MHz en DVB-H) para su transporte, lo que la convierte en una señal de alta frecuencia muy poderosa.

A continuación se señalan las características principales para la difusión de televisión digital en movilidad de las distintas bandas de frecuencia:

- La banda VHF emplea frecuencias con grandes longitudes de onda (en torno a 50 cm) por lo que requiere de antenas de tamaño considerable para la recepción si no se quiere correr el riesgo de pérdidas. Sus ventajas son que las pérdidas por propagación son bajas y la incidencia del Efecto Doppler casi inexistente. Es empleada por los servicios DMB en Corea del Sur.
- La banda UHF comprende las frecuencias de los 470 a los 862 MHz y se divide en las bandas IV y V. Esta banda resulta muy apropiada para los servicios de televisión digital en movilidad, especialmente en su parte alta, ya que los teléfonos móviles suelen incluir una antena adaptada a la banda de los 800 MHz, que es la que emplea la tecnología GSM. En algunos países, GSM ocupa la banda de los 900 MHz impidiendo su uso para la televisión digital en movilidad. Las variaciones de señal debido al Efecto Doppler en UHF permiten los desplazamientos de los receptores hasta velocidades de 300 km/h.
- La banda L ha sido tradicionalmente empleada para las comunicaciones por satélite, tanto marítimas como terrestres. Se puede diferenciar entre la banda de los 1450 a los 1500 MHz y la de los 1900 MHz. Las pérdidas de señal por propagación son muy altas en esta banda, así como las variaciones de señal por Efecto Doppler, lo que limita la velocidad máxima de desplazamiento del receptor a los 150 km/h. Esta banda resulta adecuada casi únicamente para comunicaciones vía satélite.
- La banda S comprende desde los 1,5 GHz a los 5 GHz. Es la banda que emplean los sistemas por satélite DAB, STiMi (CMMB), DVB-SH y S-DMB. Las transmisiones por satélite en banda S se suelen combinar con el uso de repetidores en áreas urbanas para poder llevar la señal a los interiores cuando no hay línea de visión directa con el satélite. Debido a la gran pérdida de señal por propagación, sólo se emplea para transmisiones por satélite y entre repetidores

terrestres a corta distancia.

Se deben tener en cuenta también los múltiples estándares tecnológicos existentes para la difusión de servicios de televisión digital en movilidad. Las franjas del espacio radioeléctrico empleadas para la difusión de televisión digital en movilidad dependerán en gran medida de la tecnología elegida. Así podemos hacer cinco distinciones:

- Radiodifusión terrestre. La que emplean estándares como DVB-H, ATSC M/H, MediaFLO e ISDB-T.
- La franja de espectro radioeléctrico empleada por DAB.
- VHF. Empleado por DMB-T.
- 3G. UMTS y CDMA2000.
- Espectro inalámbrico de banda ancha. WiMAX.

3.2.3.1. Radiodifusión terrestre

El espectro radioeléctrico asignado a la radiodifusión de televisión comprende a las bandas VHF (Bandas I, II y III) y UHF (Bandas IV y V). La asignación de canales depende de cada país, pero suelen estar organizados en espacios de 6 MHz para el sistema NTSC y de 7-8 MHz para el sistema PAL. El ancho de banda total asignado ronda en torno a los 400 MHz, que correspondería a unos 67 canales de 6 MHz. Las bandas bajas de VHF no son adecuadas para la radiodifusión de televisión digital en movilidad debido a que requerirían que los dispositivos móviles dispusieran de grandes antenas de recepción. Las bandas altas de UHF son las ideales para transmitir señales de televisión digital en movilidad debido a su proximidad a las frecuencias en las que operan los dispositivos móviles (800 MHz GSM).

Tabla 32. Asignación de bandas de frecuencia para la radiodifusión de televisión (puede variar por países).

Banda	Frecuencias	Uso
VHF Banda I	54-72 MHz	Canales 2-4
VHF Banda II	76-88 MHz	Canales 5-6. FM Radio (100 canales).
VHF Banda III	174-214 MHz	Canales 7-13. DAB (en Europa).
UHF Banda IV	470-608 MHz	Canales 14-73.
UHF Banda V	614-806 MHz	Canales 38-69

3.2.3.2. El espectro para DVB-H

DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*) está diseñado para emplear la misma franja de espectro radioeléctrico que DVB-T, pero puede operar en otras franjas de frecuencias de UHF o de la banda L. La asignación de frecuencias depende de cada país en concreto. El operar en las mismas frecuencias que DVB-T presenta como ventajas la disponibilidad de espectro y el ahorro de infraestructuras, lo que facilita la implantación del DVB-H. Las desventajas las entraña la dificultad para recibir una señal estable en dispositivos móviles con antenas pequeñas, ya que en las frecuencias más bajas la señal transmitida tiene menos potencia y suele requerir del uso de repetidores para dar cobertura a grandes áreas.

Los parámetros técnicos de DVB-H son distintos de los de DVB-T en aras de mejorar las características de propagación de la señal. Emplea modulación COFDM (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) con 4096 portadoras (4K) y una tasa de transmisión de datos de entre 5 y 11 Mbps dependiendo de si se usa QPSK o 16-QAM. DVB-H puede ofrecer servicios de audio y vídeo hasta a 50 usuarios con un sólo espacio de 8 MHz dividido en canales de entre 25 y 384 kbps.

La implementación de DVB-H se basa en el mismo flujo de transporte MPEG-2 que emplea DVB-T.

3.2.3.3. El espectro para T-DMB

El estándar T-DMB (*Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting*) para servicios de televisión digital en movilidad sobre redes terrestres es una evolución del sistema DAB (Eureka 147), que consiste principalmente en ampliar el sistema de corrección de errores hacia adelante (*Forward Error Correction o FEC*). Uno de los principales motivos del éxito de T-DMB en su implantación ha sido que podía emplear el espectro radioeléctrico asignado a DAB, lo que le permitía no tener que esperar a la asignación de frecuencias por parte del estado para poder ofrecer servicios, adelantándose así a otras tecnologías como DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*).

El espectro radioeléctrico de DAB se organiza en espacios de 1,744 MHz en la banda L (1452-1492 MHz) o en la banda VHF. No obstante, la asignación de frecuencias

depende de cada país en concreto.

Los servicios comerciales de televisión digital en movilidad vía T-DMB comenzaron en Corea del Sur en diciembre de 2005, y empleaban la banda III de VHF (174-213 MHz) con dos canales de 6 MHz divididos cada uno de ellos en tres subportadoras de 1,54 MHz para poder repartir las frecuencias entre seis operadoras distintas.

Alemania lanzó en 2006 un servicio de televisión digital en movilidad vía T-DMB empleando la banda L que se usa para los servicios DAB por satélite. Alemania también empleaba el canal 12 de VHF para la difusión de DAB por vía terrestre.

3.2.3.4. Radiodifusión por satélite

La banda S va desde los 1,5 a los 5,2 GHz, cruzando el límite imaginario entre la UHF y la SHF (*Super High Frequency*), y es utilizada por radares meteorológicos y algunos satélites de comunicaciones.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) también tiene asignada una parte de la banda S para la radiodifusión de DAB vía satélite: de los 2310 a los 2360 MHz para Estados Unidos y México; y de los 2535 a los 2655 MHz para Corea del Sur, Japón, la India, Pakistán y Tailandia.

Los estándares para televisión digital en movilidad por satélite S-DMB (*Satellite-Digital Multimedia Broadcasting*) y DVB-SH (*Digital Video Broadcasting-Satellite Handheld*) fueron diseñados para emplear la banda S para difundir servicios multimedia directamente a los dispositivos móviles o a través de una red de repetidores terrestres.

3.2.3.5. El espectro para los servicios 3G

UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) es el estándar adoptado en Europa para las comunicaciones 3G. Otros países como Japón y Estados Unidos también emplean redes UMTS que funcionan mediante una tecnología de conexión llamada UTRA (*UMTS Terrestrial Radio Access*).

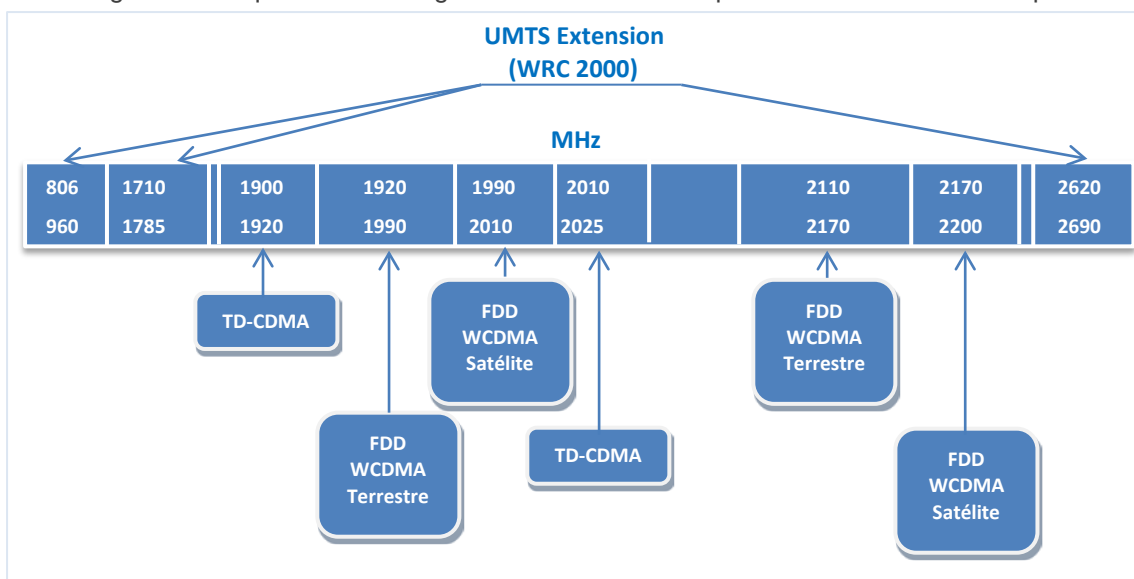
El espectro para UMTS abarca 155 MHz divididos en 60 franjas de 2 MHz para un total de 120 MHz y una franja de 35 MHz en la banda de los 2 GHz. La franja de 120 MHz emplea tecnología WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*), y la de 35

MHz TD-CDMA (*Time Division-Code Division Multiple Access*). La WRC 97 (World Radiocommunication Conference de 1997 celebrada en Ginebra) asignó así las frecuencias para las UMTS:

- Las franjas de los 1920-1980 MHz y 2110-2170 MHz fueron asignadas para enlaces de subida y bajada respectivamente para UMTS (FDD, WCDMA). Estas dos franjas tienen 60 MHz cada una que se dividen en portadoras FDD (*Frequency Division Duplex*) de 5 MHz cada una.
- Las franjas de los 1900-1920 MHz y 2010-2025 MHz fueron asignadas para UMTS con TD-CDMA que usa transmisión bidireccional.
- Las franjas de los 1980-2010 MHz y 2170-2200 MHz fueron asignadas para transmisiones UMTS por satélite con FDD-CDMA.

Las recomendaciones de las IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications-2000*) han sido implementadas en varios países y regiones adaptándose a sus circunstancias tecnológicas y de disponibilidad de espectro radioeléctrico. La Unión Europea, por ejemplo, ha asignado la franja de los 1900 a los 2200 MHz a varias tecnologías, tanto terrestres como por satélite. La WRC 2000 (World Radiocommunication Conference del 2000 celebrada en Estambul) amplió las franjas de espectro disponibles para UMTS en Europa. China, por poner otro ejemplo, ha optado por el empleo de la franja de los 2300-2400 MHz para implantar sus servicios 3G mediante tecnología TD-SCDMA (*Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access*).

Figura 45. Esquema de la asignación de frecuencias para las IMT-2000 en Europa.



3.2.4. Asignación de frecuencias por países

El número de suscriptores a servicios en movilidad ha aumentado exponencialmente en casi todo el mundo en los últimos años. Esto ha generado problemas a la hora de asignar el espectro radioeléctrico de manera coordinada en varios países y zonas del mundo, especialmente el que afecta a la televisión digital y al 3G, los servicios más demandados. La asignación de espectro radioeléctrico es uno de los principales problemas en los que se fijan las operadoras a la hora de apostar por una u otra tecnología o decidir si desplegar una red para servicios en movilidad. Pero la última palabra a la hora de asignar el espectro radioeléctrico la tienen los países, que intentan coordinarse entre sí para asignar las frecuencias de manera armónica y facilitar así la expansión de los servicios en movilidad.

Existen distintos sistemas para asignar el espectro radioeléctrico, y cada país suele optar por uno u otro. Un método sería la subasta pública. Otra opción es el concurso público. También se puede asignar el espectro por servicios y otorgar la licencia a las compañías que provean dichos servicios. El método más empleado en Europa para asignar el espectro radioeléctrico para los servicios 3G ha sido la subasta pública, lo que ha provocado auténticas batallas entre compañías para hacerse con las licencias. En la India, por ejemplo, fue el gobierno quien asignó las frecuencias 3G a las diferentes compañías basándose en el número de suscriptores de tecnologías 2G que tenían. A

continuación, se expone cómo han solucionado el problema de la asignación de frecuencias en algunas áreas significativas del mundo.

3.2.4.1. Europa. UMTS

En Europa, el método más común de asignación del espectro radioeléctrico ha sido la subasta pública. Se subastó una franja de 60 MHz dividida en 12 espacios de 5MHz por los que pujaron las operadoras.

La asignación de frecuencias final quedó como sigue:

- Espectro emparejado: 1920-1980 y 2110-2170 MHz (FDD, WCDMA) con canales de 5MHz emparejados como enlace de subida y enlace de bajada. Un operador necesita entre 3 y 4 canales (2x15 MHz o 2x20 MHz) para poder construir una red de alta velocidad eficiente.
- Espectro desemparejado: 1900-1920 y 2010-2025 MHz (TDD, TD-CDMA) con canales de 5 MHz.

La asignación final de servicios quedó como sigue:

- DECT (*Digital Enhanced Cordless Telecommunications*, Telecomunicaciones Inalámbricas Mejoradas Digitalmente). 1880-1900 MHz.
- IMT-2000. 1900-1980 MHz.
- MSS. 1980-2010 MHz.

Los MSS⁶⁰ (*Satellite Based Mobile Services*) han generado poco interés desde sus orígenes, pero aun así tienen asignado un rango de frecuencias para operar, que en Europa va de los 1980 a los 2010 MHz.

3.2.4.2. Servicios TDtv

TDtv (*Time Division Multiplexed television*) es un sistema creado para aprovechar la franja no emparejada del espectro 3G reservada para las tecnologías TD-CDMA (*Time Division-Code Division Multiple Access*). TD-CDMA es una tecnología de radiodifusión basada en el uso de la interfaz MBMS (*Multimedia Broadcast Multicast*

⁶⁰ Los servicios móviles por satélite (MSS del inglés *Satellite Based Mobile Services*) se refieren a las redes de satélites de comunicaciones destinados a ser utilizados para las conexiones de telefonía móvil.

Service) diseñada para poder transmitir a un ilimitado número de usuarios y cuyos servicios fueron definidos por el 3GPP *release* 6.

TDtv opera en las bandas de espectro 3G no emparejadas que están disponibles en todo el mundo (1900-2100 MHz) para permitir a los operadores UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) utilizar sus infraestructuras para ofrecer paquetes de televisión y multimedia en movilidad sin afectar a los demás servicios de voz y datos 3G. La tecnología TDtv ha llamado la atención de algunas operadoras europeas como Telefónica o Vodafone.

3.2.4.3. Estados Unidos

Históricamente, los Estados Unidos han dividido el espectro radioeléctrico en dos bandas llamadas «*cellular*» (850 MHz) y «*PCS*⁶¹» (1850-1900 MHz). El auge de las comunicaciones basadas en el sistema AMPS (1G) en la década de los ochenta llevó a la FCC (Federal Communications Commission) a asignar 862 frecuencias de 30 kHz cada una en la franja de los 850 MHz que se extendieron hasta la UHF. Al mismo tiempo, la FCC asignó las frecuencias entre los 1850 y los 1990 MHz a los nuevos servicios «*PCS*», dando libertad a los operadores para elegir qué tecnología de transmisión emplear: CDMA, TDMA o GSM. La libertad de los operadores para seleccionar su tecnología de transmisión ha dado lugar a que en los Estados Unidos convivan varios sistemas como GSM (*Global System for Mobile communications*), CDMA (*Code Division Multiple Access*) y 3G, entre otros.

En los Estados Unidos, las bandas de frecuencia de los 800-850 MHz y los 2 GHz están saturadas, lo que ha generado muchos problemas a la FCC a la hora de asignar las frecuencias para las tecnologías IMT-2000 de acuerdo a los protocolos de armonización global, por lo que se ha llegado a considerar el empleo de la banda AWS (*Advanced Wireless Services*), también llamada UMTS banda IV o UMTS 1700, que comprende de los 1710 a los 1755 MHz y de los 2110 a los 2155 MHz.

Los servicios «*cellular*» y «*PCS*» se organizaron en los Estados Unidos siguiendo las recomendaciones de la WRC 2000 y de la UIT. Los servicios 3G fueron lanzados por Cingular Wireless (hoy AT&T) compartiendo la banda de los 1900 MHz con los

⁶¹ PCS (*Personal Communications Service*) son servicios de telefonía móvil digital.

servicios 2G. Los operadores con acceso a las bandas de los 850 MHz y de los 1900 MHz comenzaron a proveer servicios 3GPP (WCDMA). Los operadores de servicios 3GPP2 con sistemas basados en CDMA evolucionaron también al 3G (CDMA2000 y EV-DO) empleando las mismas franjas de espectro radioeléctrico. Los Estados Unidos han asistido a un proceso de convergencia que ha ido de las redes TDMA (*Time Division Multiple Access*) a las CDMA o 3G. Hoy en día, en el mercado estadounidense conviven: GSM, CDMA2000, 3G (UMTS), EV-DO y HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*).

La radiodifusión de audio digital se realiza en Estados Unidos mediante dos tecnologías: S-DAB (satélite) y T-DAB (terrestre). La UIT, en la WRC 92, asignó la banda L (1452-1492 MHz) para DAB en todo el mundo. Los Estados Unidos han desarrollado la tecnología IBOC (*In Band On Channel*) para audio digital que ha sido aprobada por la UIT y opera aprovechando los espacios entre canales de la banda FM (88-108 MHz).

La FCC ha asignado en los Estados Unidos la banda S (2320-2345 MHz) a los servicios de audio digital por satélite, que allí son operados por Sirius y XM Radio.

La televisión digital terrestre en los Estados Unidos ocupa la franja de los 512-698 MHz. Hasta junio de 2009, la franja de los 698-805 MHz estaba ocupada por la televisión analógica (NTSC). Todo el proceso de asignación de frecuencias para la televisión digital terrestre y en movilidad fue llevado a cabo por la FCC con cuidado de no interferir con los servicios GSM. El «Dividendo Digital» resultante del «Apagón Analógico» en los Estados Unidos permitió subastar en 2008 parte del espectro que se había liberado. Los mayores beneficiarios fueron las operadoras telefónicas AT&T y Verizon, y en menor medida Qualcomm que se hizo con una franja de espectro con la intención de implementar su tecnología MediaFLO (*Media Forward Link Only*).

3.2.4.4. El espectro para MediaFLO

MediaFLO (*Media Forward Link Only*) es una tecnología propietaria desarrollada por la empresa estadounidense Qualcomm. Qualcomm se hizo con una licencia para operar el canal 55 de la UHF (716-722 MHz) con la intención de implementar su estándar de televisión digital en movilidad MediaFLO. Posteriormente, llegó a un acuerdo con

AT&T y Verizon para el uso compartido de su red de difusión y poder ofertar así sus servicios de multimedia en movilidad a los suscriptores de esas dos operadoras.

En octubre de 2010, Qualcomm anunció el fin de la comercialización del servicio a los consumidores. En diciembre de 2010, AT&T anunció que iba a adquirir las licencias del espectro de banda de Qualcomm. El servicio de FLO TV cesó el 27 de marzo 2011.

3.2.4.5. Corea del Sur

En Corea del Sur, el estándar de televisión digital terrestre es ATSC (*Advanced Television Systems Committee*) con canales de 6 MHz distribuidos entre las bandas VHF y UHF. Para la difusión de televisión digital terrestre, el gobierno de Corea del Sur ha asignado los canales 8 y 12 de la VHF (180-186 MHz y 204-210 MHz), cuyas bajas frecuencias permiten grandes áreas de cobertura, pero requieren que los dispositivos móviles dispongan de una antena considerable. Los servicios de S-DMB (*Satellite-Digital Multimedia Broadcasting*) operan en la banda S en la franja de frecuencias de los 2630-2655 MHz.

Corea del Sur no ha empleado el sistema de subastas públicas para asignar el espacio radioeléctrico para los servicios de televisión digital en movilidad, sino que ha sido el gobierno quien ha asignado las franjas de frecuencia a las operadoras. Corea del Sur emplea la banda de 1700 MHz para los «PCS» de la misma manera que Estados Unidos emplea la de los 1900 MHz.

La distribución por operadoras de las principales frecuencias en Corea del Sur queda como sigue:

- 2100 MHz: KTF y SKT.
- 1700 MHz: «PCS», LG y KTF.
- 800 MHz: SKT.

3.2.4.6. La India

La India adoptó el sistema DVB-T (*Digital Video Broadcasting–Terrestrial*) para la difusión de televisión digital terrestre en julio de 1999. La primera transmisión DVB-T tuvo lugar el 26 de enero de 2003 y la llevo a cabo la cadena de televisión pública Doordarshan en las cuatro principales ciudades del país. El «Apagón Analógico» en la

India se ha planificado en cuatro fases con la etapa final programada para 2015. El gobierno indio ha aprobado recientemente una inversión de 564 millones de dólares para un plan de cinco años del Ministerio de Información y Radiodifusión que amplíe la infraestructura y la red de All India Radio (AIR) y Doordarshan. Bajo este plan, Doordarshan espera poder ampliar la capacidad de su servicio gratuito de televisión directa al hogar con 250 canales para el año 2017. Los servicios de radiodifusión digital terrestre en la India no están abiertos a operadoras privadas, siendo monopolizados por la compañía estatal Doordarshan que también opera una red DVB-H en Delhi empleando las bandas VHF y UHF. Según la organización DVB, a finales de 2009 el plan consistía en desplegar servicios DVB-H en 17 ciudades de la India.

La India es el segundo mercado de telefonía móvil más grande del mundo con unos 400 millones de usuarios calculados en el año 2009. Sin embargo, las licencias para explotar el espectro radioeléctrico 3G no se concedieron hasta finales de 2009, dando lugar a que el espectro 2G estuviera muy congestionado. Inicialmente, las licencias 2G fueron entregadas a cuatro operadores por estado con dos licencias GSM (*Global System for Mobile communications*) y dos CDMA (*Code Division Multiple Access*) cada uno, además de a las compañías estatales MTNL y BSNL. Al mismo tiempo, los operadores locales que operaban previamente recibieron licencias para operar CDMA en la banda de los 800 MHz y, en el año 2007, también GSM, alcanzando la cifra de hasta 10 operadores de telefonía por estado. Las públicas MTNL y BSNL obtuvieron las licencias para ofertar servicios 3G antes que ninguna otra operadora.

La distribución por tecnologías de las principales frecuencias en la India queda como sigue:

- 2x25 MHz en la banda de los 2100 MHz para servicios IMT-2000 a distribuir entre 5 operadoras asignando a cada una 2x5 MHz para 3G-GSM.
- 2x10 MHz en la banda de los 900 MHz para servicios «PCS» a distribuir entre operadores de CDMA.
- 2x2,5 MHz en la banda de los 800 MHz para servicios CDMA a distribuir entre operadores de EV-DO.
- 2x5 MHz en la banda de los 450 MHz para servicios CDMA a distribuir entre

operadores de EV-DO.

Tabla33. Asignación de bandas de frecuencia para telefonía móvil en la India.

Banda	Enlace de subida	Enlace de bajada	Tecnología
800 MHz	824-844 MHz	869-889 MHz	CDMA
900 MHz	890-915 MHz	935-960 MHz	GSM
1800 MHz	1710-1785 MHz	1805-1880 MHz	GSM

3.2.4.7. El espectro para WiMAX

No se debe olvidar que existen también tecnologías emergentes como WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) que también requieren de la asignación de una franja de espectro radioeléctrico para funcionar. La tecnología WiMAX se presenta en una versión móvil (IEEE 802.16e-2005) o fija (IEEE 802.16d-2004). En Corea del Sur, los servicios WiMAX, comercializados como WiBro, operan en la banda de los 2300 MHz. En los Estados Unidos, Sprint Nextel junto con Clearwire han lanzado una red WiMAX llamada XOHM empleando sus previamente asignadas franjas de espectro para «PCS». La tecnología WiMAX ha mostrado tanto potencial para la transmisión de contenido multimedia que la mayoría de países están asignando frecuencias a estos servicios. En Reino Unido, WiMAX funciona en la banda de los 3400 y 4200 MHz. En los Estados Unidos, la FCC (Federal Communications Commission) ha asignado frecuencias extras para WiMAX entre los 3650 y los 3700 MHz. Singapur y Hong Kong emplean la banda de los 3400 MHz.

En la actualidad, en España existen despliegues comerciales del estándar 802.16e como Iberbanda, Eircom y, para empresas, Neo, que también ofrece servicios 4G.

Tabla 34. Asignación de bandas de frecuencia para WiMAX.

Banda	Tecnología	Uso
700-800 MHz	UHF	WiMAX
2300-2400 MHz	802.16e TDD	WiBRO
2469-2690 MHz	IMT-2000 / satélite / 802.16e	Por determinar
3300-3400 MHz	TDD	WiMAX móvil
3400-3800 MHz	802.16e TDD	Satélite / WiMAX / 4G
S1 5000-5350 y 5725-5850 MHz	802.16d TDD o FDD	WiMAX / Por determinar

3.3. DISPOSITIVOS PARA LA TELEVISIÓN DIGITAL EN MOVILIDAD

Los dispositivos móviles deben reunir unas características específicas para poder recibir televisión digital en movilidad. Si se piensa en el proceso de recepción de señal de manera simplificada, se pueden reducir estas características a dos: contar con un sintonizador de señal, y con un procesador capaz de decodificar y reproducir esa señal en el dispositivo móvil. Normalmente, estas dos funciones suelen estar implementadas en un único microprocesador (*chip*) y su *software* asociado.

Los operadores que ofrecen servicios de televisión digital en movilidad necesitan que existan en el mercado un número elevado de dispositivos capaces de recibir sus servicios, lo que genera un gran problema ya que existen multitud de fabricantes y gamas de dispositivos cada uno equipado con diferentes *chips* y *software*.

3.3.1. Los chips para la televisión digital en movilidad

El 19 de abril de 1965, la revista *Electronics* publicó un documento elaborado por el cofundador de Intel, Gordon Moore, que anticipaba que la complejidad de los circuitos integrados se duplicaría cada año con una reducción de costo equiparable. Conocida como la ley de Moore, su predicción ha hecho posible la proliferación de la tecnología en todo el mundo y hoy en día se ha convertido en el motor del rápido cambio tecnológico. Moore actualizó su predicción en 1975 para señalar que el número de transistores en un *chip* se duplica cada dos años, y esto se sigue cumpliendo hoy. Además de proyectar cómo aumenta la complejidad de los *chips* (medida por los transistores que contiene), la ley de Moore sugiere también una disminución de los

costos. A medida que los componentes y los ingredientes de las plataformas con base de silicio crecen en capacidad, se vuelven exponencialmente más económicos de producir y, por lo tanto, más abundantes e integrados en nuestras vidas diarias. Los microprocesadores (*chips*) actuales se encuentran en todas partes, desde juguetes hasta semáforos, pasando por los ordenadores o los dispositivos móviles. Un simple teléfono móvil actual tiene más poder de computación que el ordenador más potente de hace una década.

La gran capacidad de computación de los microprocesadores (*chips*), junto con sus consumos energéticos cada vez menores y un precio decreciente, han sido uno de los factores tecnológicos determinantes para la implantación de la televisión digital en movilidad. Gracias a estos avances, la industria de la televisión y la multimedia digital en movilidad ha alcanzado un crecimiento masivo con cientos de millones de usuarios en todo el mundo.

La multiplicidad de estándares tecnológicos para la televisión digital en movilidad ha dejado claro que no va a haber una única tecnología dominante, por lo que la industria de los microprocesadores (*chips*) se esfuerza cada vez más en la multifuncionalidad. Algunos de los mayores fabricantes de *chips* del mundo son Intel, Philips, DiBcom (recientemente adquirida por Parrot), Freescale, Samsung, Texas Instruments (TI) y Broadcom, y fabrican tanto *chips* multifunción como *chips* específicos para tecnologías como DVB-H, ATSC/MH, MediaFLO o ISDB-T.

3.3.2. Funciones multimedia de los teléfonos móviles

Un teléfono móvil «*low cost*» con sólo las funciones básicas puede tener un único *chip* y costar menos de 20 euros. Los actuales *smartphones*, en cambio, resultan mucho más caros y necesitan disponer de muchas más funciones. Un teléfono móvil actual de alta gama debe de estar preparado para funcionar en un entorno multimedia, ser capaz de establecer videollamadas, enviar mensajes con contenido multimedia, recibir vídeo y audio en *streaming* directamente de la red, y manejar contenido Rich Media. Un teléfono móvil multimedia actual debe tener las siguientes prestaciones:

- *Códecs* de audio y vídeo de los estándares más comunes (JPEG, H.264, H.263, AAC, AMR, MP2, Windows Media, etc.).

- Reproductor de audio y vídeo.
- Capacidad de *streaming*.
- Visualización de imágenes y gráficos.
- Cámara de fotografía y vídeo.
- Capacidad de conversión de formatos de audio y vídeo.
- Renderización de animaciones y gráficos.
- Renderización en 3D.
- Interfaz de red altamente resistente.
- Múltiples interfaces para Bluetooth, *wireless*, infrarrojos, etc.

3.3.3. Requerimientos técnicos de los chips para la televisión digital en movilidad

Para poder incluir todas las prestaciones enumeradas en el apartado anterior y poder ofrecer servicios de televisión digital en movilidad, un teléfono móvil ha de cumplir los siguientes requerimientos técnicos:

- Se necesita un *chip* o microprocesador, normalmente llamado base o huésped (*host*), para el manejo del teclado, la pantalla, y los interfaces *wireless* LAN, USB y Bluetooth.
- Se requiere un motor de comunicación para poder funcionar en redes 3G-GSM o CDMA en varias bandas. Suele consistir en un transceptor de radiofrecuencia y un módem adaptado a la red en que funcione el dispositivo (por ejemplo HSDPA o CDMA2000). En muchos casos, el teléfono está diseñado para funcionar con múltiples estándares (GPRS, EDGE, 3G, HSDPA, etc.).
- Se requiere un receptor de televisión digital en movilidad que funcione como sintonizador y decodificador. Este requisito puede ser satisfecho por un único *chip* con el *software* necesario para la tecnología adecuada (DVB-H, ATSC/MH, MediaFLO, T-DMB, S-DMB o ISDB-T).
- Se necesita un motor multimedia para gestionar la codificación y decodificación del audio y el vídeo, así como la renderización de gráficos y animaciones, además de la gestión de las imágenes y el vídeo generados por la cámara.

También es importante diferenciar entre funciones y prestaciones:

Tabla 35. Funciones y prestaciones de los teléfonos móviles multimedia.

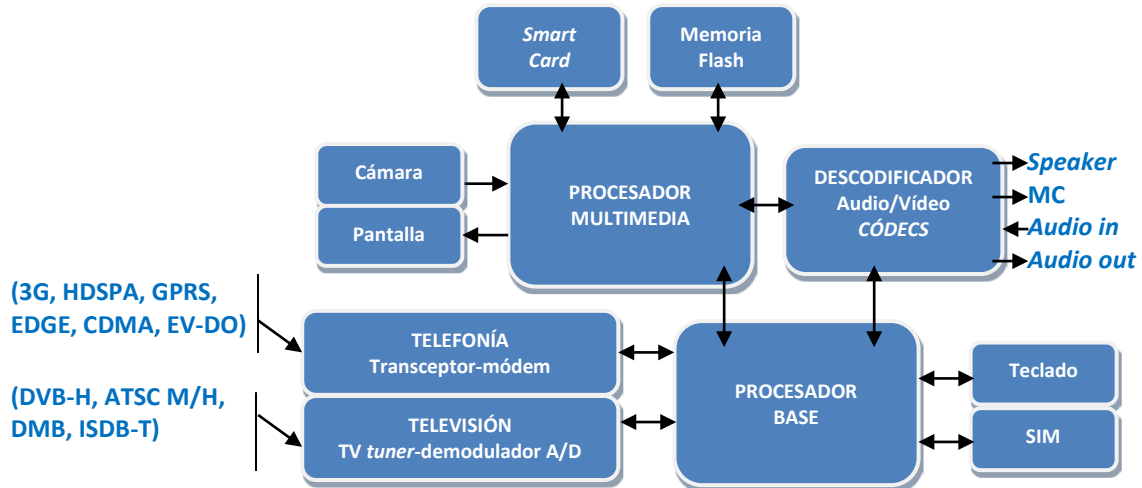
Funciones	Prestaciones
Telefonía móvil (3G, HSPA, GPRS, EDGE, CDMA, EV-DO)	Videollamadas
WLAN (802.11a/b/g/n)	Descargas vídeo en <i>streaming</i>
Televisión digital (DVB-H, ATSC M/H, DMB, ISDB-T)	Descargas audio en <i>streaming</i>
Radio (FM, DAB)	Vídeo en directo
Navegación (GPS)	Vídeo bajo demanda
Conectividad (Bluetooth)	MMS
Seguridad (CAS, DRM)	SMS
	<i>Email</i>
	Información personal
	Navegación por Internet
	Juegos
	<i>Blogging</i>
	Cámara fotográfica
	Álbum de fotos
	Grabación de vídeo
	Navegación en coche o andando
	Compartir contenidos
	<i>e-commerce</i>
	<i>M-Wallet</i>
	...

La arquitectura básica de un teléfono móvil multimedia incluiría un procesador base para las comunicaciones, un decodificador de televisión y un procesador multimedia (o procesador de aplicaciones), junto con algunos otros *chips* para tareas auxiliares (por ejemplo el reloj). Las funciones de comunicación del transceptor son normalmente controladas por el procesador base o huésped (*host*). El procesador multimedia suele incluir *códecs* para MPEG-4 y JPEG, un motor para gráficos en 2D, un motor para procesar audio y vídeo, un controlador de pantalla, un controlador para una memoria Flash y un controlador para los sensores CMOS/CCD⁶².

⁶² *Complementary Metal-Oxide-Semiconductor* o CMOS (semiconductor complementario de óxido metálico) es una de las familias lógicas empleadas en la fabricación de circuitos integrados. Un Sensor de Píxeles Activos (en inglés *Active Pixel Sensor* cuyo acrónimo es APS) es un sensor que detecta la luz

Términos como «procesador base», «procesador de aplicaciones» o «procesador multimedia» son empleados por la industria de los microprocesadores para describir las funciones desempeñadas por estos *chips*. Pero estas funciones pueden variar dependiendo del fabricante del *chip* o de la tecnología implicada (por ejemplo 3G-GSM o CDMA).

Figura 46. Esquema de la arquitectura de un teléfono móvil multimedia.



Las funciones que realizan dentro del dispositivo móvil el procesador base, el procesador multimedia y el decodificador están íntimamente relacionadas. Existe una tendencia, cada vez más frecuente, llamada SoC (*System-on-a-Chip*) que consiste en usar tecnologías de fabricación que integran todos o gran parte de los módulos componentes de un computador o cualquier otro sistema informático o electrónico (teléfono móvil) en un único circuito integrado o *chip*. De esta forma, un único microprocesador o *microchip* puede incluir todas las funciones de un teléfono móvil. El coste de producción de un dispositivo así puede ser caro, pero cuando se aplica a grandes volúmenes de producción resulta más barato a largo plazo dado que simplifica el proceso de construcción de los teléfonos móviles. Un ejemplo de SoC sería un procesador base que controla el teclado, la pantalla, el sistema operativo y procesa las

basado en tecnología CMOS y por ello más conocido como Sensor CMOS. Un Dispositivo de Carga Acoplada (en inglés *Charge-Coupled Device*, conocido también como CCD) es un circuito integrado que contiene un número determinado de condensadores enlazados o acoplados. Bajo el control de un circuito interno, cada condensador puede transferir su carga eléctrica a uno o a varios de los condensadores que estén a su lado en el circuito impreso. La alternativa digital a los CCD son los dispositivos CMOS, utilizados en algunas cámaras digitales y en numerosas cámaras web. En la actualidad, los CCD son mucho más populares en aplicaciones profesionales y en cámaras digitales.

señales (voz, datos, vídeo y audio) del teléfono móvil. Todas las funciones multimedia del dispositivo pueden ser controladas por el procesador multimedia que puede ser otro SoC.

3.3.4. Seguridad en los teléfonos móviles. La tarjeta SIM

La necesidad de seguridad en las conexiones telefónicas móviles, junto con el imperativo de identificar a los usuarios de las redes móviles, ha dado lugar a la aparición de varios sistemas de protección entre los que destaca la tarjeta SIM.

Una tarjeta SIM (*Subscriber Identity Module*, en español Módulo de Identificación de Abonado) es una tarjeta inteligente desmontable usada en teléfonos móviles y módems externos HSPA (*High-Speed Packet Access*) o LTE (*3G Long Term Evolution*). Las tarjetas SIM almacenan de forma segura la clave de servicio del suscriptor usada para identificarse en la red, de forma que sea posible cambiar la línea de un terminal a otro simplemente cambiando la tarjeta. El uso de la tarjeta SIM es obligatorio en las redes GSM (*Global System for Mobile communications*). Su equivalente en las redes UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) se denomina USIM o UICC (*Universal Integrated Circuit Card* o Tarjeta Universal de Circuito Integrado), siendo más popular el RUIM (*Removable User Identify Module* o Módulo de Identidad de Usuario Desmontable) en los teléfonos CDMA (*Code Division Multiple Access*).

3.3.5. Tendencias y clasificación de los teléfonos móviles

El desarrollo de la industria de la telefonía móvil en los últimos años indica una tendencia clara hacia la convergencia entre tecnologías de comunicación celulares y de radiodifusión en los dispositivos. Los teléfonos móviles actuales son multired, siendo capaces de recibir radiodifusiones por vía de varias bandas de radiofrecuencia distintas, y de transmitir información mediante redes diferentes. Estas nuevas características han facilitado tanto el *roaming*, o capacidad de desplazamiento de los dispositivos por distintos territorios, como su producción en masa. Además, los diseños de *chipsets* cada vez más avanzados permiten unos tamaños de pantalla mayores y una mejor resolución de imagen en los dispositivos móviles.

La industria de la telefonía suele clasificar los teléfonos móviles de acuerdo a su uso como teléfonos básicos, *smartphones* y *business phones* (blackberrys y PDAs). Pero

también se podrían clasificar los teléfonos móviles según la tecnología que incorporan:

- Teléfonos básicos. Son capaces de ejecutar las funciones básicas de comunicación como las llamadas, los SMS y algunas otras funciones simples como la agenda de contactos.
- Teléfonos multimedia. Se encuentran entre el básico y el *smartphone*. Están diseñados para incorporar servicios multimedia como cámaras de audio y vídeo de alta resolución (8 MP), procesamiento y almacenamiento de imagen, gestión de varios formatos de audio y vídeo, etc. Estos dispositivos requieren de más recursos en términos de procesador y memoria para poder funcionar.
- *Smartphones*. Los *smartphones* incorporan las tecnologías más avanzadas y son comparables en prestaciones a un ordenador personal en miniatura. Su precio normalmente coincide con sus capacidades. Requieren de un sistema operativo avanzado para poder funcionar. Entre los sistemas operativos más conocidos están el Android de Google, iOS de Apple y Windows Phone de Microsoft. Los *smartphones* suelen incorporar capacidades de conectividad Wi-Fi, 3G o 4G, la presencia de un doble núcleo o cuádruple procesador, una amplia gama de aplicaciones descargables, una cámara de alta resolución y GPS integrado. Todas estas funciones generan la necesidad de un procesador muy potente y mucho espacio de almacenamiento.

3.3.6. Diseños de chips

El sector de la movilidad demanda constantemente dispositivos cada vez más sofisticados que incluyan capacidades de conexión 3G y aplicaciones multimedia. El incremento en los volúmenes de producción de dispositivos ha provocado que cada vez sea más común el incluir todas las funciones de un dispositivo móvil en un único *chip*. Sin ir más lejos, la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) calcula que en el año 2009 había más de 300 millones de dispositivos 3G en uso y en el año 2013 sumaban ya los 1750 millones.

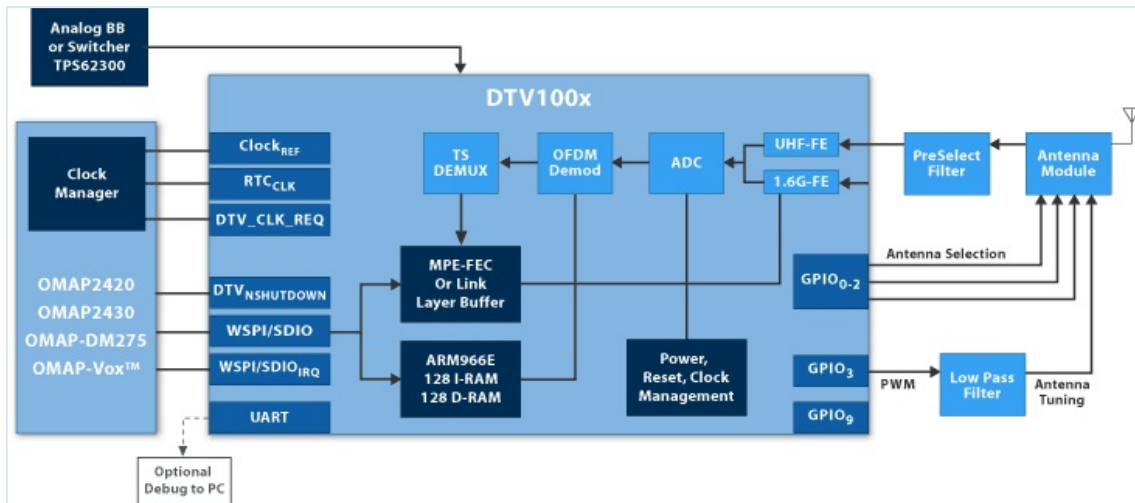
El procedimiento normal de desarrollo de un *chip* suele implicar un diseño de referencia para reducir el tiempo de desarrollo antes de su introducción en el mercado. Estos diseños de referencia suelen especificar los siguientes elementos:

- Lista de componentes y su disposición.
- Solución *wireless*.
- Solución multimedia.
- APIs (*Application Program Interface*).
- Sistema operativo.
- *Test Kits*.

Todos estos elementos del diseño de referencia forman juntos un «producto integrado» que se aplica al diseño posterior de los dispositivos móviles.

Un ejemplo clásico de un diseño de referencia serían los modelos DTV100x de Texas Instruments (TI DTV100x *chipset*). La arquitectura del TI se basa en la plataforma OMAP (*Open Multimedia Applications Platform*). La solución para televisión digital en movilidad en un único *chip* se basa en un SoC con un procesador OMAP y un procesador base para televisión digital. Diseñado para la radiodifusión de televisión digital en formato DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*) o ISDB-T (*Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial*), este *chipset* incluye un sintonizador UHF y de banda L, un demodulador OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) y un decodificador DVB-H o ISDB-T para generar el vídeo. El TI DTV100x fue el primer *chip* fabricado en serie que incluía juntos el sintonizador y el modulador en el mismo soporte físico (en un solo *chip*). A este tipo de diseños se les denomina «*single chip solution*», ya que solucionan con un único *chip* el problema de la recepción y decodificación de la señal de televisión digital. La transmisión de la señal de las redes de telefonía móvil (GSM, CMDA, etc.) requerirá de *chips* adicionales.

Figura 47. Diseño de referencia del chip DTV100x de Texas Instruments. Imagen tomada del sitio: Texas Instruments. <http://www.ti.com>



Se puede observar que el *chip* tiene sintonizadores para UHF y la banda L, un conversor analógico digital y un demodulador OFDM. A continuación la señal pasaría a un demultiplexor para ser sometida posteriormente a un proceso de corrección de errores hacia delante. Se aprecia también que el procesador principal es un ARM966E con 128 MB de RAM.

3.3.6.1. Chips para 3G

Los *chipsets* para tecnologías 3G combinan las funciones básicas de un transceptor de radiofrecuencias con la decodificación de señales de un procesador base y un procesador multimedia. No existe necesidad de tener un receptor de radiodifusiones en formato DVB-H, DMB, ATSC M/H o ISDB-T y, en el caso de que fuera necesario, se podrían añadir al *chipset*.

Las aplicaciones de los servicios 3G incluyen las videollamadas, las videoconferencias, el vídeo y audio en *streaming*, y juegos interactivos, entre otros, además de otras aplicaciones propias de Internet como navegación web, transferencia de archivos, VoIP, etc. También se requiere soporte para aplicaciones gráficas basadas en SVG y J2ME. Cuando las prestaciones de los dispositivos 3G aumentan notablemente hasta el punto de llegar a hablar de *smatphones*, es común encontrarse entonces con *chips* dedicados únicamente para aplicaciones.

Los dispositivo 3G originales lanzados en Japón, los FOMA 900i, funcionaban con una arquitectura basada en procesadores OMAP de doble núcleo con capacidades para multitarea en un entorno multimedia.

Foto 10. Modelos FOMA 900i. Imagen tomada del sitio: WindowsCE Fan.
<http://www.wince.ne.jp/snap/cnBoard.asp?PID=795>



Algunos modelos para el mercado chino, como los desarrollados por la compañía Datang, también tienen una arquitectura basada en OMAP. Una particularidad del mercado chino es que emplean el formato AVS-M (*Audio Video Standard-Mobile*) para la codificación de audio y vídeo, así como para la transmisión en *streaming*, por radiodifusión o en IPTV, por lo que también emplean otros *chipsets* como los que fabrica la compañía china Spreadtrum.

CDMA2000 1x es una tecnología propietaria de Qualcomm. Los teléfonos móviles con CDMA2000 1x también suelen soportar GSM (*Global System for Mobile communications*) y GPRS (*General Packet Radio Service*), y emplean como procesadores base *chips* fabricados por la propia Qualcomm para gestionar las radiotransmisiones. Para las capacidades multimedia, suelen recurrir a procesadores de la compañía Intel.

MBMS (*Mobile Broadcast Multicast Service*) es una tecnología diseñada para llevar servicios de banda ancha a millones de usuarios simultáneamente en modo *broadcast* a través de las redes 3G, algo imposible mediante la transmisión en modo *unicast*. Un modelo de *chipset* que podría dar soporte a esta tecnología serían los de la serie MSM (*Mobile Station Modem*) de Qualcomm, que con su doble núcleo son capaces de funcionar en HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*) y HSDPA (*High Speed*

Downlink Packet Access) entre los 5,6 y los 7,2 Mbps.

1xEV-DO es una tecnología desarrollada por Qualcomm basada en las redes 3G-CDMA cuyos servicios son ofrecidos por las operadoras de varios países del mundo como Japón, Corea del Sur, Brasil y Australia, por nombrar algunos. Los teléfonos móviles con servicios 1xEV-DO también suelen emplear los *chipsets* de la serie MSM de Qualcomm.

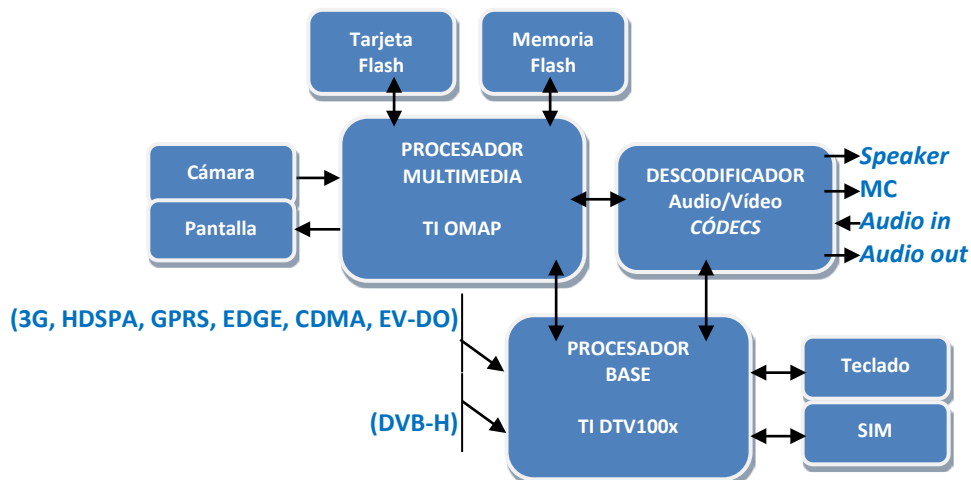
3.3.6.2. Chips para HSPA+

HSPA+ (*High-Speed Packet Access plus*), también conocido como *Evolved HSPA*, es un estándar de internet móvil definido en la versión 7 de 3GPP y posteriores. HSPA+ consigue velocidades de hasta 84 Mbps de bajada y 22 Mbps de subida. Muchos operadores han adoptado este estándar para aprovechar al máximo el potencial de sus redes móviles, dando lugar al desarrollo de *smartphones* con altas prestaciones como cámaras de 16 MP, *full HD* vídeo y GPS. Estas funciones requieren a su vez de *chipsets* de altas prestaciones capaces de gestionar un transceptor muy potente y de procesar señales digitales, destacando los fabricados por las compañías Qualcomm, Spreadtrum y Samsung.

3.3.6.3. Chips para DVB-H

La transmisión de televisión digital en movilidad en formato DVB-H (*Digital Video Broadcasting–Handheld*) se basa en la transmisión de señales de vídeo codificadas en MPEG-4 y moduladas en COFDM (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) por la banda UHF o la banda L. Un *chipset* para DVB-H debe contener un sintonizador y una antena para GSM (banda UHF y banda L), además de un demodulador COFDM, y decodificadores para el audio y el vídeo.

Figura 48. Esquema de la arquitectura de un teléfono móvil con DVB-H.



Entre los *chipsets* fabricados para DVB-H cabría destacar los modelos de la serie DIB7000H de la compañía DiBcom, que pueden ser empleados por varios sistemas operativos distintos y que, junto con los procesadores multimedia NVIDIA G5500 GPU, proporcionan una alta calidad para la codificación y decodificación de vídeo. Samsung también fabrica *chipsets* para DVB-H, pero suele optar por la configuración SoC integrando el procesador base, el procesador multimedia y el decodificador.

3.3.6.4. Chips para DVB-SH

ICO mim es un servicio de televisión digital en movilidad basado en DVB-SH (*Digital Video Broadcasting–Satellite Handheld*) diseñado inicialmente para vehículos. Su satélite G1 cubre todo los Estados Unidos y, además, ICO mim instala repetidores terrestres en las ciudades para asegurar la recepción de señal incluso cuando no se puede ver el cielo.

ICO mim emplea un *chipset* de la compañía DiBcom para la recepción y decodificación de la señal que emite el satélite, además de permitir la comunicación *full-duplex* mediante tecnología GMR (*Geostationary-Earth-Orbit Mobile Radio-Interface*).

3.3.6.5. Chips para ATSC

La compañía surcoreana LG es uno de los mayores fabricantes del mundo de *chipsets* para servicios de televisión digital en movilidad en formato ATSC. Unos de sus diseños de referencia ha sido el *chip* LG1260A, empleado en dispositivos MP3, receptores de

televisión digital en movilidad, teléfonos móviles y por la industria de la automoción.

La arquitectura del LG1260A refleja las características iniciales de la industria de la televisión digital en movilidad, ya que los sintonizadores de señal son externos y no están integrados en el *chipset*.

3.3.6.6. Chips para MediaFLO

MediaFLO (*Media Forward Link Only*) fue una tecnología desarrollada por la empresa Qualcomm para la radiodifusión de televisión digital en movilidad a dispositivos portátiles que se utilizaba tan sólo en los Estados Unidos. Esta tecnología permitía la radiodifusión de canales de vídeo en tiempo real, la recepción de audio y transmisiones de datos IP.

Qualcomm es una compañía estadounidense fundada en 1985 que produce *chipsets* para las tecnologías móviles CDMA (*Code Division Multiple Access*) y WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*). También es uno de los principales suministradores de procesadores para *smartphones* del mundo, destacando los de la serie MSM (*Mobile Station Modem*) que utilizan multitud de dispositivos móviles con capacidad 3G y que eran los empleados para los servicios basados en MediaFLO.

Foto 11. Chipset MSM6500 de Qualcomm. Imagen tomada del sitio: Softpedia.
<http://archive.news.softpedia.com/news/QUALCOMM-Java-Solution-Gains-New-Flexibility-with-Multitasking-Capability-28514.shtml>



3.3.6.7. Chips para DAB

Un receptor DAB (*Digital Audio Broadcasting*) funciona recibiendo una radiofrecuencia, convirtiéndola en una señal, demodulándola y sincronizándola con el conjunto de un flujo *múltiplex*. Toda la información del servicio contenido en el

conjunto del *múltiplex* es transportada en un FIC (*Fast Information Channel*). Las funciones de sincronización con el conjunto del *múltiplex* las realiza un chip DSP (*Digital Signal Processor*).

Texas Instruments y Philips son algunos de los principales fabricantes de *chipsets* para DAB.

3.3.6.8. Chips para DMB

La recepción en DMB (*Digital Multimedia Broadcasting*) funciona igual que en DAB. DMB emplea a su vez dos sistemas de recepción: T-DMB (terrestre) que funciona mayoritariamente en bandas de 1,57 MHz, y S-DMB (satélite) que funciona en bandas de 25 MHz.

Los primeros dispositivos con capacidad T-DMB fueron fabricados por la compañía LG empleando sus propios *chipsets*, que incorporaban las siguientes prestaciones en una configuración SoC: decodificador OFDM, demultiplexor MPEG-2, decodificador Eureka 147 (DAB), decodificador H.264, otros decodificadores de audio (MUSICAM, MP3 y AAC+). En ocasiones, se emplea aparte un *chipset* de Qualcomm para las conexiones a la red basadas en CDMA (*Code Division Multiple Access*).

Philips también ha fabricado *chipsets* para DMB con configuración SoC integrando en el procesador base el sintonizador, el decodificador y el demodulador de señal.

Los primeros dispositivos con capacidad S-DMB fueron desarrollados por Samsung, empleando sus propios *chipsets*.

Foto 12. Samsung SCH-B100. Imagen tomada del sitio: Buyking.
<http://www.buyking.com/news/2005/03/news200503290205511>



3.3.6.9. Chips para ISDB-T

A finales de 2009, se calculaba que en Japón había más de 60 millones de dispositivos con capacidad de servicio ISDB-T 1 Seg (*Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial 1 Segment*). Existen varios fabricantes de *chipsets* capaces de soportar tecnología ISDB-T, a destacar: Newport Media (adquirida por Atmel), Siano y DiBcom. La característica principal de un *chipset* para ISDB-T es que debe incluir un sintonizador para las bandas VHF y UHF.

3.3.6.10. Chips para CMMB

Los dispositivos basados en CMMB (*China Mobile Multimedia Broadcasting*) que se emplean en China tienen capacidades de recepción dual: por satélite (Banda S, STiMi) y terrestre (UHF). Existen varias compañías chinas que fabrican *chipsets* para CMMB, casi siempre con arquitectura SoC: Siano, Rockchips, TelePath y Spreadtrum, entre otras.

3.3.6.11. Chips para servicios GPS

El sistema de posicionamiento global GPS (*Global Positioning System*) desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona o un vehículo con una precisión de hasta centímetros. El GPS funciona mediante una red de 24 satélites en órbita a 20 200 km de altura con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la Tierra. Cuando se desea determinar la posición, un receptor localiza automáticamente cuatro satélites de la red, como mínimo, de los que recibe unas señales indicando la identificación y la hora del reloj de cada uno de ellos. Con base a estas señales, el aparato sincroniza el reloj del GPS y calcula el tiempo que tardan en llegar las señales al equipo de tal modo que conoce la posición del objeto determinando la distancia de cada satélite respecto al punto de medición.

Muchos teléfonos móviles actuales están diseñados para trabajar con datos GPS y presentarlos en forma de mapa animado con información de localización, lo que requiere de *software* y *hardware* (*chips*) específico en el dispositivo. Uno de los principales fabricantes del mundo de *chipsets* para servicios GPS en teléfonos móviles es Qualcomm. Las características principales de un *chipset* para GPS instalado en un

teléfono móvil deben ser: poco consumo eléctrico y capacidad para trabajar con señales débiles debido al pequeño tamaño de las antenas.

3.3.7. Sistemas operativos y software

La telefonía móvil existe desde hace más de dos décadas, pero ha sido recientemente cuando la televisión en movilidad y la multimedia han adquirido presencia en los teléfonos móviles de nueva generación. Para poder entender cómo funcionan y se implementan las nuevas tecnologías para la televisión digital en movilidad, es necesario entender el *software* y, más concretamente, los distintos sistemas operativos que incorporan los dispositivos móviles actuales.

La comprensión del funcionamiento del *software* que incluye un dispositivo móvil sirve para entender cómo se transmiten los servicios de televisión digital en movilidad a varios tipos de dispositivos distintos, cómo operan de manera similar los distintos dispositivos móviles, cuántos tipos de reproductores multimedia hay en el mercado y cómo funcionan, o las técnicas que emplean las operadoras para generar entornos en los que sólo funciona o se puede emplear el tipo de *software* que ellas favorecen, por citar algunos ejemplos.

3.3.8. Aplicaciones

En informática, una aplicación es un tipo de programa diseñado como herramienta para permitir a un usuario realizar uno o diversos tipos de trabajos. Esto lo diferencia de otros tipos de programas, como los sistemas operativos (que hacen funcionar los ordenadores), las utilidades (que realizan tareas de mantenimiento o de uso general) y los lenguajes de programación (que sirven para crear programas informáticos). Las aplicaciones son una solución informática para la automatización de ciertas tareas complicadas como pueden ser la contabilidad, la redacción de documentos o la gestión de un almacén. Algunos ejemplos de programas de aplicación son los procesadores de textos, hojas de cálculo y bases de datos. Otros ejemplos de programas de aplicación pueden ser los programas de comunicación de datos, de multimedia, para presentaciones, de diseño gráfico, correo electrónico, navegador web, compresión de archivos, etc.

Las aplicaciones tienen mucha importancia en el entorno de la televisión digital en

movilidad, ya que liberan al usuario de la necesidad de realizar múltiples ajustes en su dispositivo móvil para acceder a los servicios multimedia a la vez que le permiten gestionar sus preferencias en un entorno Rich Media.

Existen varios tipos de aplicaciones para multimedia en movilidad. La mayoría de teléfonos móviles actuales, por ejemplo, están diseñados para soportar conexiones RTSP (*Real Time Streaming Protocol*) y flujos de datos 3GPP. Una aplicación para multimedia en movilidad en este entorno debería, como mínimo, ser capaz de establecer las condiciones del servicio de flujo de datos 3GPP, presentar un EPG (*Electronic Program Guide*) y permitir al reproductor compatible 3GPP reproducir el contenido multimedia, además de poder gestionar la seguridad de los contenidos mediante tecnología DRM (*Digital Rights Management*).

Las aplicaciones para entornos de radiodifusión de televisión digital en movilidad en *broadcast* por redes terrestres son un poco más complicadas. Una aplicación en este entorno deberá ser capaz de seleccionar un canal en el sintonizador y presentar una EPG obtenida del flujo de transmisión de datos. También debe poder representar otros datos como noticias, información meteorológica o del tráfico. Además, la aplicación debe ser capaz de proporcionar interactividad mediante un canal de retorno.

Las operadoras de señal de televisión en movilidad deben elegir qué aplicaciones emplear para poder transmitir sus servicios con la máxima calidad y al máximo número de dispositivos móviles posible, sin importar qué sistema operativo usen. Para poder entender cómo funciona una aplicación para televisión digital en movilidad, cómo interacciona entre el flujo de transporte de datos y el *middleware*⁶³ del dispositivo móvil, se deben entender las capas básicas de organización del *software* en un dispositivo móvil.

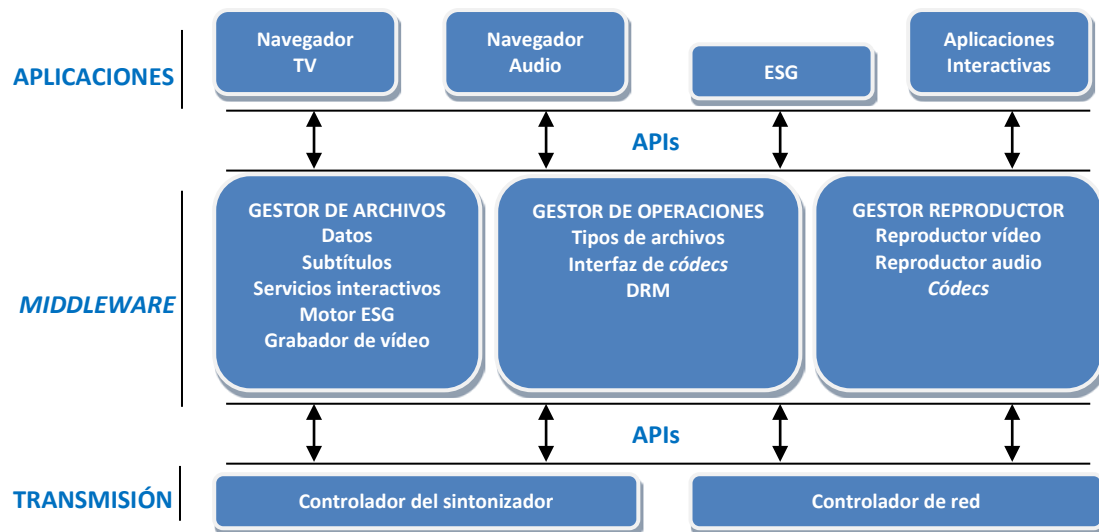
Las aplicaciones están diseñadas como una interfaz de las APIs (*Application Programming Interface*) de *software* del dispositivo. Las APIs son un conjunto de subrutinas y funciones que ofrecen cierto conjunto de implementaciones funcionales

⁶³ El *middleware* es un *software* que asiste a una aplicación para interactuar o comunicarse con otras aplicaciones o paquetes de programas, redes, *hardware* y/o sistemas operativos. El *middleware* sirve para simplificar el trabajo de los programadores en la compleja tarea de generar las conexiones y sincronizaciones que son necesarias en los sistemas distribuidos como los teléfonos móviles de última generación.

para ser utilizadas por otro *software* y que funcionan como una capa de abstracción⁶⁴. Uno de los principales propósitos de una API consiste en proporcionar un conjunto de funciones de uso general, por ejemplo, para dibujar ventanas o iconos en la pantalla. De esta forma, los programadores se benefician de las ventajas de la API haciendo uso de su funcionalidad y evitándose el trabajo de programar todo desde el principio. Las APIs son abstractas: el *software* que proporciona una cierta API generalmente es llamado la implementación de esa API. Las APIs normalmente vienen incluidas en el sistema operativo de los dispositivos o como *middleware* instalado. Los desarrolladores de aplicaciones normalmente se sirven de las APIs para sus diseños, o de paquetes de herramientas facilitadas por los desarrolladores de los sistemas llamados SDK (*System Development Kit*).

Se pueden distinguir entonces tres capas de abstracción que interaccionan mediante las APIs en la arquitectura básica del *software* de un dispositivo móvil: En la primera capa se encontraría todo lo necesario para recibir la transmisión en radiodifusión, como el controlador del sintonizador y los controladores de red. En la segunda capa estaría el *middleware*, con el generador de EPG (*Electronic Program Guide*), el sistema de transporte de archivos, el sistema de gestión de datos (subtítulos, interactividad, DRM, etc.), además de todos los *códecs*, reproductores y sistemas de gestión de archivos. En la tercera capa es donde se sitúan las aplicaciones que proporcionan los servicios de televisión y multimedia en movilidad mediante los reproductores personalizables, los navegadores, la ESG (*Electronic Services Guide*) y el resto de aplicaciones interactivas.

⁶⁴ Una capa de abstracción (o nivel de abstracción) es una forma de ocultar los detalles de implementación de ciertas funcionalidades. Quizás los modelos de *software* más conocidos que utilizan capas de abstracción son el modelo OSI de 7 capas para protocolos de red, la biblioteca gráfica OpenGL y el modelo de flujo de bytes de entrada/salida creado para Unix y adoptado por MS-DOS, Linux y muchos otros sistemas operativos.

Figura 49. Esquema de la arquitectura básica de las APIs y el *software* en un teléfono móvil.

3.3.9. El software en los teléfonos móviles

Los teléfonos móviles actuales son sistemas informáticos en miniatura y por lo tanto requieren de varios tipos de *software* para poder funcionar. Los sistemas operativos fueron diseñados originalmente para que los sistemas informáticos pudieran gestionar la entrada y salida de información, el disco duro, la memoria, la pantalla, la impresora, el teclado y los demás periféricos. Una de las funciones del sistema operativo era el controlar las funciones básicas del sistema informático dejando las funciones más específicas a las aplicaciones. A medida que esas funciones más específicas fueron ganando en complejidad con la aparición de Internet y la multimedia, los sistemas operativos ganaron en complejidad a su vez demandando cada vez más recursos de procesador y memoria. Este proceso de escalada tecnológica de los ordenadores se ha repetido de la misma manera en los teléfonos móviles. Los teléfonos móviles básicos de hace unos años sólo eran capaces de proporcionar servicios de voz y de SMS como mucho, no poseían un sistema operativo apreciable y el código necesario para ejecutar sus funciones venía incluido en el *hardware*. A medida que los teléfonos móviles fueron ganando en complejidad, se hizo cada vez más patente que era necesario el incluir un sistema operativo con un procesador dedicado que permitiera múltiples aplicaciones independientes e intercambiables. Los nuevos *smartphones* debían de ser capaces de funcionar en redes 3G o CDMA (*Code Division Multiple Access*) y poder conectarse a puntos de acceso Wi-Fi o Bluetooth, además de soportar todo tipo de aplicaciones

multimedia y distintos formatos de vídeo con la demanda de memoria y capacidad de procesamiento que todo ello requiere y, también en algunos casos, debían de tener sintonizadores para alguno de los estándares de televisión digital en movilidad de difusión terrestre (DVB-H, ATSC M/H, T-DMB, etc.).

Para entender cómo funciona un teléfono móvil podemos dividirlo en varias capas:

- El *hardware* son las partes tangibles de un sistema informático, sus componentes eléctricos, electrónicos, electromecánicos y mecánicos. Consiste en cables, procesadores, tarjetas y cualquier tipo de periféricos o elemento físico involucrado perteneciente al sistema. Se define por oposición al soporte lógico intangible que es lo que se llama *software*.
- El sistema operativo sirve de interfaz de control del *hardware* y los periféricos. Algunos de los sistemas operativos más extendidos en el entorno de la telefonía móvil son: Android, iPhone Os, Symbian, Palm Os, Linux, Windows Mobile y BREW.
- El *middleware* sirve para implementar las funciones básicas de los dispositivos de manera similar en múltiples sistemas operativos y combinaciones de *hardware* diferentes. Algunos ejemplos de *middleware* serían los *códecs*, los reproductores o el *software* para servicios VoIP (*Voice over IP*).
- El interfaz de usuario corresponde al *software* que permite que el usuario se encuentre con una interfaz uniforme en todos los dispositivos con un mismo sistema operativo o un mismo fabricante.
- Las aplicaciones son la interfaz entre el usuario y las funciones especializadas que puede desempeñar el teléfono móvil: servicios de *email*, de televisión en movilidad, todo tipo de aplicaciones de ofimática, videojuegos, etc.

Figura 50. Esquema de la arquitectura básica de un teléfono móvil.



Las arquitecturas basadas en un sistema operativo junto con su *middleware* es lo que permite a las aplicaciones de usuario funcionar en todo tipo de dispositivos móviles indistintamente sin tener que preocuparse constantemente de los cambios en el *hardware* que motiva la evolución tecnológica y de mercado.

Todos los dispositivos móviles necesitan un sistema operativo para ejecutar sus tareas básicas de comunicación y gestión. Las APIs son fundamentales para los fabricantes de *software* ya que les permiten olvidarse de la programación de las funciones básicas como conectarse a una red o descargar un archivo que son gestionadas por *middleware* como Java o BREW. Las aplicaciones forman el grueso del *software* de un teléfono móvil y dependen de las APIs y del *middleware* para poder ejecutar sus funciones de usuario altamente especializadas.

3.3.10. El sistema operativo en los dispositivos móviles

El sistema operativo es un componente fundamental en los dispositivos móviles; siempre que se habla de implementar servicios de televisión digital en movilidad mediante una aplicación será el sistema operativo el que marque los límites a las

funciones ofertadas por el servicio. Las aplicaciones requieren del sistema operativo y del *middleware* para poder funcionar. Los diseñadores y desarrolladores de aplicaciones buscarán los sistemas operativos más robustos y que mejores opciones de flexibilidad les ofrezcan para implementar sus aplicaciones. A continuación, se exponen cuáles son las características esenciales que debe reunir el sistema operativo de un dispositivo móvil hoy en día.

Resulta evidente que, en la actualidad, son las aplicaciones las que dominan el entorno de los dispositivos móviles por encima de las funciones de comunicación. La naturaleza de las aplicaciones varía constantemente como fruto de la evolución del *hardware* y de las exigencias del mercado. Existe un gran número de desarrolladores que se dedican a crear aplicaciones, que deben de observar a su vez las directrices de organismos como W3C (World Wide Web Consortium) o 3GPP (Third Generation Partnership Project), además de cumplir con los requisitos técnicos de las redes en las que van a operar. Por todo esto, los sistemas operativos deben de proporcionar un entorno en el que no sólo se puedan dar servicios multimedia, sino que además favorezca la constante aparición de aplicaciones nuevas. Los sistemas operativos más populares son Android y iOS, y ambos cuentan con más de un millón de aplicaciones disponibles.

Una de las funciones principales de un sistema operativo es la de albergar los protocolos de funcionamiento de todas las funciones básicas de un dispositivo móvil como pueden ser los protocolos de comunicación, los decodificadores de audio y vídeo, los protocolos de Internet (TCP/IP, RTP, WAP, Wi-Fi, etc.) y Bluetooth, entre otros. El sistema operativo también se encarga de funciones aún más básicas como la gestión energética del dispositivo. Además, el sistema operativo debe albergar los *drivers*⁶⁵ para que funcionen todos los periféricos asociados al dispositivo móvil.

Un sistema operativo debe de tener la capacidad de operar en distintos tipos de *chipsets*. Debe de poder soportar *chipsets* para comunicaciones, gráficos 3D, aplicaciones multimedia y televisión digital en movilidad, por citar algunos ejemplos. Un sistema operativo también debe de favorecer la portabilidad de *hardware*. En el mercado actual,

⁶⁵ Un controlador de dispositivo o manejador de dispositivo (en inglés *device driver* o simplemente *driver*) es un programa informático que permite al sistema operativo interaccionar con un periférico haciendo una abstracción del *hardware* y proporcionando una interfaz, posiblemente estandarizada, para utilizar el dispositivo. Se podría decir que es una pieza esencial del *software* sin la cual el *hardware* no sería utilizable.

existen infinidad de dispositivos móviles, cada uno con sus capacidades y arquitectura de *hardware* propia, por lo que resulta de capital importancia para un sistema operativo el ser capaz de ejecutarse en múltiples dispositivos distintos.

El diseño del interfaz del sistema operativo debe de ser atractivo. La interfaz debe de incluir amplias posibilidades de animación y gráficos, ya que los operadores decidirán implementar sus aplicaciones en un sistema operativo u otro dependiendo de la flexibilidad que estos les ofrezcan y de la posibilidad de hacer sus aplicaciones atractivas generando una imagen de marca.

Un sistema operativo debe de soportar *middleware* como Java o Flash para que los desarrolladores puedan crear aplicaciones con independencia del dispositivo en el que vayan a ser empleadas. Además, un sistema operativo debe ser capaz de proporcionar varios servicios simultáneamente como hacer una llamada de voz, visionar un vídeo y enviar un *email* al mismo tiempo.

Existen varios sistemas operativos distintos que se han desarrollado en el entorno de la telefonía móvil en los últimos años y que actualmente son utilizados por millones de usuarios en todo el mundo. A continuación se repasan los más populares.

3.3.10.1. Symbian

Symbian es un sistema operativo propiedad de Nokia y que fue producto de la alianza de varias empresas de telefonía móvil entre las que se encontraban: Nokia, Sony Mobile Communications, Samsung, Siemens, Benq, Fujitsu, Lenovo, LG, Motorola, Mitsubishi Electric, Panasonic y Sharp, entre otras. El objetivo del Symbian era crear un sistema operativo para terminales móviles que pudiera competir con el de Palm o el Windows Mobile de Microsoft y, posteriormente, Android de Google, iOS de Apple, Windows Phone de Microsoft y BlackBerry OS de RIM. Entre 2009 y 2010, Nokia decide transferir el soporte y desarrollo del sistema operativo Symbian a la consultora Accenture, terminando la operación a finales de septiembre de 2011 una vez finalizado el desarrollo de la nueva versión Symbian Belle, que se convirtió en la última versión de Symbian en la que Nokia participó de forma exclusiva. En octubre de 2011, se confirma de forma oficial que Symbian sólo tendrá soporte hasta el año 2016 por no poder seguir compitiendo con sistemas operativos de última generación como Android, iOS o

Windows Phone.

La mayoría de los móviles con Symbian eran de Nokia. En 2011, tras el acuerdo con Microsoft, Nokia anunció que centraría su apoyo y esfuerzos en Windows Phone, dejando de lado a Symbian. En diciembre de 2011, Nokia sustituye la denominación Symbian por Nokia Belle como parte de sus planes de unificación de marcas. Sin embargo, el sistema operativo Symbian mantiene su nombre de cara a los desarrolladores. En enero de 2013, Nokia anunció que el Nokia 808 PureView era el último modelo de la compañía con este sistema operativo y, por tanto, el último teléfono con Symbian que se fabricó.

Foto 13. Modelo Nokia 808 PureView. Imagen tomada del sitio: All About Symbian.
http://www.allaboutsymbian.com/features/item/15699_Symbian_versus_Android_Smartph.php



Symbian fue diseñado específicamente para teléfonos móviles, e incluía aplicaciones para navegación, mensajería, comunicaciones, Bluetooth, videotelefonía, mensajería, *streaming* y todo tipo de funciones con aplicaciones basadas en JVM (Java Virtual Machine). Symbian también proporcionaba soporte para aplicaciones basadas en 3GPP, 3GPP2 y OMA (Open Mobile Alliance).

La arquitectura del sistema operativo Symbian era muy original, ya que tenía separada la interfaz del usuario del sistema operativo, lo que permitía a cada fabricante de teléfonos móviles el seleccionar la suya. Este hecho, junto a las facilidades de portabilidad de *hardware* del sistema, facilitaba su implantación en múltiples entornos

como los teléfonos de NTT DoCoMo para la red FOMA de Japón, o los teléfonos fabricados por Sony o Samsung.

Symbian tenía varias versiones que diferían esencialmente en lo relativo a las resoluciones soportadas para dispositivos con diferentes tamaños de pantalla como teléfonos móviles o PDAs. Las últimas versiones de Symbian que se desarrollaron permitían también una mayor capacidad de procesamiento y de rendimiento multimedia.

3.3.10.2. Linux

Linux es un sistema operativo libre basado en Unix⁶⁶. También es uno de los principales ejemplos de *software* libre y de código abierto del mundo. Linux está licenciado bajo la normativa GPL⁶⁷ (*General Public License*) y ha sido desarrollado por colaboradores de todo el mundo. El núcleo Linux fue concebido por el entonces estudiante de ciencias de la computación finlandés Linus Torvalds en 1991. Linux consiguió rápidamente desarrolladores y usuarios que adoptaron códigos de otros proyectos de *software* libre para usarlo con el nuevo sistema operativo. El núcleo Linux ha recibido contribuciones de miles de programadores de todo el mundo. Normalmente, Linux se utiliza junto a un paquete de *software* llamado GPL/Linux.

Gracias a su estatus de estándar abierto, Linux se ha hecho un hueco en el entorno de los sistemas operativos para teléfonos móviles. Los fabricantes de dispositivos pueden programar el *kernel*⁶⁸ como quieran con la garantía de que el código fuente del sistema siempre será de dominio público.

El núcleo de Linux tiene sus funciones muy limitadas y la mayoría de teléfonos móviles que implementan este sistema operativo requieren de *middleware* para poder soportar funciones de multimedia, comunicaciones o conectividad. El Fórum Linux trabaja en el

⁶⁶ Unix (registrado oficialmente como UNIX®) es un sistema operativo portable, multitarea y multiusuario desarrollado en 1969 por un grupo de empleados de los laboratorios Bell de AT&T.

⁶⁷ La Licencia Pública General o más conocida por su nombre en inglés *General Public License* es la licencia más ampliamente usada en el mundo del *software* y garantiza a los usuarios finales (personas, organizaciones, compañías) la libertad de usar, estudiar, compartir (copiar) y modificar el *software*. Su propósito es declarar que el *software* cubierto por esta licencia es *software* libre y protegerlo de intentos de apropiación que restrinjan esas libertades a los usuarios.

⁶⁸ En informática, un núcleo o *kernel* (de la raíz germánica *Kern* que significa núcleo o hueso) es un *software* que constituye una parte fundamental del sistema operativo y se define como la parte que se ejecuta en modo privilegiado (conocido también como modo núcleo). Es el principal responsable de facilitar a los distintos programas acceso seguro al *hardware* de la computadora o, dicho de otra forma, es el encargado de gestionar recursos a través de servicios de llamada al sistema.

desarrollo de una arquitectura común de APIs para los dispositivos basados en Linux que facilite la portabilidad del sistema a varios tipos de dispositivos permitiendo ejecutar las funciones básicas de telefonía y multimedia.

LiMo Foundation (Linux Mobile Foundation) es una asociación sin ánimo de lucro fundada por Motorola, NEC, NTT DoCoMo, Panasonic Mobile Communications, Samsung Electronics y Vodafone en enero del 2007. Este consorcio industrial está trabajando para la creación de una plataforma de desarrollo libre para dispositivos móviles independiente del *hardware* y basada en el sistema operativo GPL/Linux.

3.3.10.3. Garnet OS

Garnet OS (también conocido como Palm OS) es un sistema operativo desarrollado inicialmente por Palm Inc. para PDAs en 1996. Palm OS fue diseñado para facilitar el uso con una interfaz gráfica de usuario basada en pantallas táctiles. El sistema proporciona un conjunto de aplicaciones básicas para gestión de información personal. Versiones más recientes de Palm OS han extendido su soporte a *smartphones*. Muchos otros dispositivos con Palm OS han sido fabricados por varias compañías bajo licencia.

Después de la compra de la marca registrada Palm por parte de ACCESS Systems, la versión más reciente del sistema se renombró como Garnet OS. En 2007, ACCESS Systems introdujo el sucesor de Garnet OS, denominado Access Linux Platform y, en 2009, el licenciatario principal de Palm OS, Palm Inc., cambió de Palm OS a webOS para utilizarlo en sus dispositivos futuros.

Las versiones de Palm OS anteriores a 5.0 se ejecutan en los microprocesadores DragonBall de Motorola. De la versión 5.0 en adelante, Palm OS se ejecuta en procesadores con arquitectura ARM⁶⁹.

Las características principales de la última versión de Palm OS Garnet son: Entorno simple monotarea para permitir el lanzamiento de aplicaciones de pantalla completa con una interfaz gráfica de usuario común básica. Pantallas monocromas o en color con una resolución de hasta 480x320 píxeles. Sistema de reconocimiento de escritura manual

⁶⁹ ARM es una arquitectura RISC (*Reduced Instruction Set Computer* u Ordenador con Conjunto Reducido de Instrucciones) de 32 bits y, recientemente con la llegada de su versión V8-A, también 64 bits desarrollado por ARM Holdings. Se llamó *Advanced RISC Machine* y, anteriormente, *Acorn RISC Machine*. La arquitectura ARM es un conjunto de instrucciones de 32 y 64 bits ampliamente utilizado en dispositivos informáticos.

Graffiti 2. Tecnología HotSync para sincronizar datos con ordenadores de sobremesa. Capacidades de grabación y reproducción de sonido. Modelo de seguridad simple (el dispositivo se puede bloquear con una contraseña y cada aplicación puede aplicar su propio modelo de privacidad). Acceso a redes TCP/IP. Conexiones por puerto serie/USB, Bluetooth y Wi-Fi. Soporte de tarjeta de memoria. Formato estándar definido para los datos de aplicaciones de gestión de información personal para almacenar entradas de calendario, direcciones, tareas y notas, accesible por aplicaciones de terceros.

Las aplicaciones para Palm OS se pueden desarrollar en Visual Basic, C++ y Java⁷⁰. Existen varios paquetes disponibles de herramientas de desarrollo. Además, hay mucho *software* de terceros disponible para Palm OS.

El gigante chino TCL ha confirmado a principios de 2015 que es el nuevo dueño de la marca Palm. La compra de la marca no incluye a WebOS, el sistema operativo que dio vida a la última generación de dispositivos de Palm, y que HP compró en 2010 aunque desde 2013 está en manos de LG que lo usa para sus televisores.

Foto 14. Una PDA con el sistema operativo Palm OS. Imagen tomada del sitio: MegaredDX.
<http://megared-dx.blogspot.com.es/2010/11/palm-2010-el-regreso-del-sistema-palm.html>



⁷⁰ Visual Basic, C++ y Java son lenguajes de programación. Un lenguaje de programación es un lenguaje formal diseñado para expresar procesos que pueden ser llevados a cabo por máquinas como las computadoras. Pueden usarse para crear programas que controlen el comportamiento físico y lógico de una máquina.

3.3.10.4. Windows Mobile

Windows Mobile es un sistema operativo móvil compacto desarrollado por Microsoft y diseñado para su uso en *smartphones* y otros dispositivos móviles. Se basa en el núcleo del sistema operativo Windows CE y cuenta con un conjunto de aplicaciones básicas que utilizan las APIs de Microsoft Windows. Está diseñado para ser similar estéticamente a las versiones de escritorio de Windows. Además, existe una gran oferta de *software* de terceros disponible para Windows Mobile a la cual se puede acceder a través de Windows Marketplace for Mobile.

Originalmente, Windows Mobile apareció bajo el nombre de Pocket PC como una ramificación de desarrollo de Windows CE para equipos móviles con capacidades limitadas. En la actualidad, la mayoría de los teléfonos con Windows Mobile vienen con un estilete digital que se utiliza para introducir comandos pulsando en la pantalla.

En el año 2010, Microsoft optó por una tercera línea de sistemas operativos para móviles a la que llamó Windows Embedded Handheld 6.5, que vendría a ser la nueva línea de sistemas operativos basados en Windows Mobile 6.5. Actualmente, la última versión disponible de esta nueva línea es Windows Embedded 8.1 Handheld, que está basada en Windows Phone 8.1.

Windows Mobile es un sistema operativo de 32 bits con 4 GB de memoria dedicada. Muchos usuarios y operadores tienen predilección por este sistema operativo debido a sus similitudes con la versión de sobremesa y al gran número de aplicaciones de ofimática que existen para Windows.

Algunos fabricantes han desarrollado teléfonos móviles basados en Windows Mobile con capacidades para recibir televisión digital en movilidad por vía terrestre en directo, como el LG U960 DVB-H/HSDPA series X phone, que funciona con la red DVB-H 3-Italia.

Foto 15. Un LG U960 recibiendo una señal de televisión en directo. Imagen tomada del sitio: Phonearena. http://www.phonearena.com/phones/LG-KU950_id1996/videos



3.3.10.5. BREW

BREW (*Binary Runtime Environment for Wireless*) es una plataforma de desarrollo de aplicaciones para teléfonos móviles creada por Qualcomm. No es un sistema operativo de pleno derecho, aunque muchas veces se considera que lo sea. Actualmente, BREW es soportado por un gran número de modelos de teléfonos con tecnología CDMA (*Code Division Multiple Access*). BREW está orientado a explotar una gran cantidad de características de los teléfonos móviles y cuenta con un gran número de aplicaciones de terceros como videojuegos, aplicaciones de productividad, vídeo, tonos, salvapantallas, y aplicaciones 3D. El lenguaje de programación usado para desarrollar en BREW es C y C++. BREW es una plataforma abierta para desarrolladores que incluye su propio SDK (*Software Development Kit*) gratuito.

Aunque BREW fue originalmente desarrollado para redes CDMA, posteriormente incluyó productos para 3G-GSM y otras redes. También se esperaba que diese soporte a servicios MediaFLO (*Media Forward Link Only*), DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*) y DMB (*Digital Multimedia Broadcasting*).

BREW es conocido por ser una plataforma muy sólida basada en *hardware* de Qualcomm para el desarrollo de aplicaciones multimedia. Gracias a su arquitectura, las aplicaciones que necesitan mucha interactividad, como los videojuegos, funcionan con mucha eficiencia. El sistema también integra muy bien los gráficos vectoriales y en 3D. BREW incluye componentes multimedia para soportar la codificación MPEG-4, la

grabación de vídeo, la compresión JPEG, gráficos 3D, sistema de localización, seguridad de conexión y de contenidos mediante encriptación, múltiples formatos, *streaming*, gestión de la batería y servicios de mensajería. BREW también tiene extensiones para otras plataformas como Microsoft Games on BREW o J2ME on BREW. La plataforma BREW también soporta conexiones *wireless* de banda ancha o vía red CDMA gracias a sus *chipsets* de Qualcomm.

Foto 16. Un teléfono móvil HTC Smart con BREW. Imagen tomada del sitio: Gizmodo.
<http://www.gizmodo.com.au/2010/01/htc-smart-runs-on-qualcomms-brew-os/>



3.3.10.6. Android

Android es un sistema operativo basado en el núcleo Linux que fue diseñado principalmente para dispositivos móviles con pantalla táctil como teléfonos inteligentes o *tablets*, y también para relojes inteligentes, televisores y automóviles. Inicialmente, fue desarrollado por Android Inc., empresa que Google respaldó económicamente y que más tarde, en 2005, compró. Android fue presentado en 2007 al tiempo que se creaba la Open Handset Alliance, un consorcio de compañías de *hardware*, *software* y telecomunicaciones creado para avanzar en los estándares abiertos de los dispositivos móviles. El primer móvil con el sistema operativo Android fue el HTC Dream, que se lanzó a la venta en octubre de 2008. Actualmente, se venden más dispositivos con Android en el mundo que las ventas combinadas de dispositivos con Windows Phone y iOS.

La versión básica de Android es conocida como AOSP (*Android Open Source Project*). El 25 de junio de 2014, en la Conferencia de Desarrolladores Google I/O, Google

mostró una evolución de la marca Android con el fin de unificar tanto el *hardware* como el *software* y ampliar mercados. Para ello, mostraron nuevos productos como Android TV, Android Auto, Android Wear o una serie de *smartphones* de baja gama bajo el nombre de Android One.

Foto 17. Un teléfono móvil HTC Dream con Android. Imagen tomada del sitio: Giga Android.
<http://www.giga.de/smartphones/htc-dream/news/htc-dream-erstes-android-smartphone-wurde-vor-5-jahren-vorgestellt/>



Android ofrece un marco de trabajo completo que incluye un sistema operativo, *middleware*, aplicaciones de Internet y un entorno de desarrollo. El sistema también incluye su propio SDK (*Software Development Kit*).

La arquitectura básica del sistema Android consiste en:

- Núcleo Linux. Android depende de Linux para los servicios básicos del sistema como seguridad, gestión de memoria, gestión de procesos, pila de red y modelo de controladores. El núcleo también actúa como una capa de abstracción entre el *hardware* y el resto de la pila de *software*.
- Bibliotecas. Android incluye un *set* de bibliotecas base que proporcionan la mayor parte de las funciones disponibles en las bibliotecas base del lenguaje Java. Cada aplicación Android ejecuta su propio proceso con su propia instancia de la máquina virtual ⁷¹ Dalvik. Dalvik ha sido escrito de forma que un

⁷¹ En informática, una máquina virtual es un *software* que simula a una computadora y puede ejecutar programas como si fuese una computadora real. Este *software* en un principio fue definido como un duplicado eficiente y aislado de una máquina física. La acepción del término actualmente incluye a máquinas virtuales que no tienen ninguna equivalencia directa con ningún *hardware* real.

dispositivo puede ejecutar múltiples máquinas virtuales de forma eficiente. Dalvik ejecuta archivos en el formato Dalvik Executable (.dex), el cual está optimizado para una memoria mínima. La máquina virtual Dalvik está basada en registros y ejecuta clases compiladas por el compilador de Java que han sido transformadas al formato.dex por la herramienta incluida "dx". Android incluye un conjunto de bibliotecas de C/C++ usadas por varios componentes del sistema.

- Marco de trabajo (*framework*) de aplicaciones. Los desarrolladores tienen acceso completo a los mismos APIs del *framework* usados por las aplicaciones base. La arquitectura está diseñada para simplificar la reutilización de componentes; cualquier aplicación puede publicar sus capacidades y cualquier otra aplicación puede luego hacer uso de esas capacidades (sujeto a reglas de seguridad del *framework*). Este mismo mecanismo permite que los componentes sean reemplazados por el usuario.
- Aplicaciones. Las aplicaciones base incluyen un cliente de correo electrónico, programa de SMS, calendario, mapas, navegador, contactos y otros. Todas las aplicaciones están escritas en lenguaje de programación Java.

3.3.10.7. iOS

El sistema operativo iOS fue desarrollado por la multinacional Apple Inc. para funcionar en su dispositivo móvil iPhone (iPhone OS), posteriormente se ha usado en dispositivos como el iPod Touch y el iPad. Apple Inc. no permite la instalación de iOS en *hardware* de terceros. iOS tenía el 26% de cuota de mercado de sistemas operativos móviles vendidos en el último cuatrimestre de 2010, detrás de Google Android y Nokia.

iOS fue muy novedoso en su lanzamiento en lo que se refiere a elementos de control, que consistían por primera vez en elementos deslizadores, interruptores y botones. La interacción con el sistema operativo incluye gestos como deslices, toques y pellizcos, los cuales tienen definiciones diferentes dependiendo del contexto de la interfaz. Se utilizan acelerómetros internos para hacer que algunas aplicaciones respondan a sacudir el dispositivo (por ejemplo para el comando deshacer) o rotarlo en tres dimensiones (un resultado común es cambiar de modo vertical al apaisado u horizontal). La respuesta a

las órdenes del usuario es inmediata y el sistema provee una interfaz fluida.

iOS viene de OS X, que a su vez está basado en Darwin BSD⁷², y por lo tanto es un sistema operativo tipo Unix. iOS cuenta con cuatro capas de abstracción: la capa del núcleo del sistema operativo, la capa de "Servicios Principales", la capa de "Medios" y la capa de "Cocoa Touch".

La pantalla principal, llamada «SpringBoard», es donde se ubican los iconos de las aplicaciones y el «Dock». Las aplicaciones de uso frecuente se pueden anclar en la parte inferior de la pantalla. En la parte superior, la pantalla tiene una barra de estado para mostrar datos tales como la hora, el nivel de batería y la intensidad de la señal. El resto de la pantalla está dedicado a la aplicación que se esté manejando en ese momento.

Con iOS 4 se introdujo un sistema simple de carpetas en el sistema. Se puede mover una aplicación sobre otra y se creará una carpeta y, así, se pueden agregar más aplicaciones mediante el mismo procedimiento. El título de la carpeta es seleccionado automáticamente por el tipo de aplicaciones dentro de ella, pero puede ser editado por el usuario. Con la salida de iOS 7, la cantidad máxima de aplicaciones por carpeta aumentó considerablemente pues al abrir una carpeta se muestran 9 iconos (3x3) y al agregar más aplicaciones se van creando páginas a las que se puede acceder deslizando sobre la pantalla.

Antes de la salida de iOS 7 al mercado, existía un enorme índice de robos de los diversos modelos de iPhone, lo que provocó que el gobierno estadounidense solicitara a Apple que diseñara un sistema de seguridad infalible que inutilizara los equipos en caso de robo. Fue creada entonces la activación por iCloud, la cual solicita los datos de acceso de la cuenta del usuario original, lo que permite bloquear e inutilizar el equipo al perderlo o ser víctima del robo del mismo. De igual manera, es posible conocer la ubicación vía GPS del dispositivo y mostrar mensajes en la pantalla. Hasta la fecha, no existe un método comprobado para saltarse la activación de iCloud, lo que convierte a iOS 7+ en el sistema operativo móvil más seguro del mercado.

⁷² Darwin es el sistema que subyace en Mac OS X, y cuya primera versión final salió en el año 2001 para funcionar en computadoras Macintosh. Integra el micronúcleo Mach y servicios de sistema operativo de tipo UNIX.

Todas las utilidades como Notas de Voz, Reloj, Brújula y Calculadora están en una misma carpeta llamada «Utilidades» desde la versión 4.0. Varias de las aplicaciones incluidas están diseñadas para trabajar juntas, permitiendo compartir datos de una aplicación a otra

Entre las aplicaciones «estrella» de iOS destacan, con distintas disponibilidades según dispositivos, las siguientes: Teléfono, iMessage, Brújula, Música, Fotos, Vídeos, *Mail*, Safari, Bolsa, Tiempo, Calculadora, Voice Memos y el Reloj.

Foto 18. Gama de productos Apple compatibles con iOS 8. Imagen tomada del sitio: Techglows. <http://www.techglows.com/apple-launches-ios-8-check-new-features-and-compatible-devices/>



Antes de iOS 4, la multitarea estaba reservada para aplicaciones por defecto del sistema porque a Apple le preocupaban los problemas de batería y rendimiento si se permitían correr varias aplicaciones de terceros al mismo tiempo.

Game Center se lanzó en junio de 2010 para los iPhone y iPod Touch con iOS 4 (excepto para el iPhone 2G, 3G y iPod Touch 1G). En iOS 5, Game Center se perfeccionó permitiendo agregar una foto al perfil del usuario, lo que permitió visualizar a los amigos y encontrar adversarios con recomendaciones de nuevos amigos en función

de los juegos y jugadores favoritos del usuario.

iOS no permite aplicaciones basadas en Adobe Flash ni Java por considerar que estos lenguajes de programación son inseguros, con errores, que consumen mucha batería, que son incompatibles con interfaces *multitouch* y que interfieren con el servicio App Store. En cambio, iOS usa HTML5 como una alternativa a Flash.

En iOS, se llama *jailbreak* al proceso de remover las limitaciones impuestas por Apple en dispositivos que usen el sistema operativo a través del uso de *kernels* modificados. El *jailbreak* permite a los usuarios acceder al sistema de archivos del sistema operativo, permitiéndoles instalar aplicaciones adicionales, extensiones y temas que no están disponibles en la App Store oficial. Un dispositivo con *jailbreak* puede seguir usando la App Store, iTunes y las demás funciones normales, como por ejemplo realizar llamadas. El *jailbreak* es necesario si el usuario quiere ejecutar *software* no autorizado por Apple. El Digital Millennium Copyright Act dictamina que hacer *jailbreak* a dispositivos Apple es legal en los Estados Unidos, por ahora, pero Apple anunció que tal práctica invalida la garantía.

El 17 de octubre de 2007 Apple anunció que un SDK (*Software Development Kit*) estaría disponible para terceros y desarrolladores a partir de febrero de 2008.

3.3.10.8. Blackberry OS

RIM (*Research In Motion limited*), actualmente llamada BlackBerry, es una compañía canadiense de dispositivos inalámbricos más conocida por ser el fabricante y promotor del dispositivo de comunicación móvil BlackBerry, su producto estrella. BlackBerry desarrolla su propio *software* para sus dispositivos usando C++, C y la tecnología Java. RIM también ha desarrollado y vendido componentes incorporados para datos inalámbricos.

BlackBerry es una marca de teléfonos inteligentes desarrollada por la compañía canadiense BlackBerry que integra el servicio de correo electrónico móvil desde 1999, y que también incluye las aplicaciones típicas de un *smartphone*: libreta de direcciones, agenda, calendario, lista de tareas, bloc de notas, navegador, aplicaciones de redes sociales, así como cámara fotográfica integrada en todos los dispositivos. BlackBerry se

hizo famosa por su teclado QWERTY⁷³ incorporado, y por su capacidad para enviar y recibir correo electrónico de Internet accediendo a las redes de las compañías de telefonía celular que brindan este servicio.

BlackBerry usa un sistema operativo propio, el BlackBerry OS, el cual, además de las prestaciones de un *smartphone*, incorpora su propio servicio de mensajería llamado BBM (BlackBerry *Messenger*).

El BlackBerry OS es un sistema operativo móvil de código cerrado desarrollado por BlackBerry (RIM) para sus dispositivos BlackBerry. El sistema permite la multitarea y tiene soporte para diferentes métodos de entrada adoptados por RIM para su uso en computadoras de mano, particularmente la *trackwheel*, el *trackball*, y el *touchpad*. Su desarrollo se remonta a la aparición de los primeros dispositivos móviles en 1999. Estos dispositivos permitían el acceso a correo electrónico, navegación web y sincronización con programas como Microsoft Exchange o Lotus Notes, aparte de poder hacer las funciones usuales de un teléfono móvil.

Aparte de los dispositivos de la propia compañía, otras marcas utilizan el cliente de correo electrónico de BlackBerry: Siemens, HTC y Sony, entre ellas. La mayoría de estos dispositivos cuentan con teclado QWERTY completo.

El sistema operativo BlackBerry está claramente orientado para uso profesional como gestor de correo electrónico y agenda. BlackBerry Enterprise Server (BES) proporciona el acceso y organización del correo electrónico a grandes compañías identificando a cada usuario con un único PIN BlackBerry. Los usuarios de empresas más pequeños cuentan con el *software* BlackBerry Internet Service, un programa más sencillo que

⁷³ El teclado QWERTY es la distribución de teclado más común. Fue diseñado y patentado por Christopher Sholes en 1868 y vendido a Remington en 1873. Su nombre proviene de las primeras seis letras de su fila superior de teclas. La distribución QWERTY se diseñó con el propósito de lograr que las personas escribieran más rápido distribuyendo las letras de tal forma que se puedan usar las dos manos para escribir la mayoría de las palabras. Otro de los objetivos principales era separar las letras más usadas de la zona central del teclado para evitar que se atascaran las máquinas de escribir de primera generación y, aunque hoy día no es necesario, se sigue utilizando mayormente esta distribución en máquinas de escribir y ordenadores. Los dispositivos móviles no suelen incluir el teclado QWERTY por motivos de espacio.

proporciona acceso a Internet y a correo POP3, IMAP⁷⁴ y Outlook Web Access⁷⁵ sin tener que usar BES.

BlackBerry permite a los desarrolladores independientes crear programas para BlackBerry, pero en el caso de querer tener acceso a ciertas funcionalidades restringidas necesitan ser firmados digitalmente para poder ser asociados a una cuenta de desarrollador de RIM.

Foto 19. Gama de productos BlackBerry. Imagen tomada del sitio: BerryReporter.
<http://www.berryreporter.com/category/os-updates/>



3.3.11. El middleware en los teléfonos móviles

El término *middleware* en el entorno de la telefonía móvil denota a un tipo de *software* que desempeña una función muy bien definida y que suele estar incluido en el sistema operativo. Algunas de las funciones más comunes del *middleware* son la implementación de *códecs*, las comunicaciones y los protocolos empleados para acceder a las redes de radiodifusión.

Un ejemplo de *middleware* sería el empleado por NTT DoCoMo en Japón para su red FOMA (*Freedom of Mobile Multimedia Access*). La red 3G japonesa FOMA puede

⁷⁴ IMAP y POP3 son protocolos de Internet estándar para correo electrónico que permiten a un programa el acceso a las cuentas de correo electrónico de su espacio web. IMAP permite acceder a varios clientes al mismo buzón, facilitando el acceso posterior a los mensajes de correo disponibles en el servidor mediante correo web. POP3 descarga los mensajes eliminándolos del servidor.

⁷⁵ Outlook® es un programa de organización ofimática y cliente de correo electrónico de Microsoft que forma parte de la *suite* Microsoft Office.

proporcionar, gracias a su *middleware*, servicios de acceso a Internet (i-mode), aplicaciones de Internet (i-appli), *email* (Deco-Mail), animaciones (Chara-Den), entre otros servicios específicos de esta red.

Normalmente, a los operadores de red les interesa que sus servicios se puedan disfrutar de la misma forma en distintos tipos de dispositivos móviles con sistemas operativos diferentes. Esto se puede lograr de dos maneras distintas: una sería escribir las aplicaciones en un lenguaje independiente de la plataforma en la que van a operar como Java, la otra es tener un *middleware* específico que de soporte a todos los servicios específicos de la red como los servicios FOMA.

En la actualidad, el entorno de la telefonía móvil está inundado de servicios de multimedia, vídeo, audio, animaciones, juegos e información, entre otros, por los que se cobra al usuario. Los contenidos Rich Media cada vez tienen más presencia en las redes telefónicas. El uso del *middleware* permite a los operadores el ofrecer nuevos servicios a los usuarios empleando sus redes sin tener que contar con los múltiples tipos de dispositivos móviles existentes o la diversidad de sistemas operativos que hay en el mercado.

3.3.12. Aplicaciones en los teléfonos móviles

Una aplicación móvil o *app* es una aplicación informática diseñada para ser ejecutada en *smartphones*, tabletas y otros dispositivos móviles. Por lo general, se encuentran disponibles a través de plataformas de distribución operadas por las compañías propietarias de los sistemas operativos móviles como Android, iOS, BlackBerry OS y Windows Phone, entre otros. Existen aplicaciones móviles gratuitas y de pago. El término *app* se volvió popular rápidamente, tanto que en 2010 fue elegida como *Word of the Year* (Palabra del Año) por la American Dialect Society.

El desarrollo de aplicaciones para dispositivos móviles requiere tener en cuenta las limitaciones de estos dispositivos. Los dispositivos móviles funcionan con una batería limitada y tienen procesadores menos poderosos que los ordenadores personales. Los desarrollos de estas aplicaciones también tienen que considerar una gran variedad de tamaños de pantalla, datos específicos de *software* y configuraciones. El desarrollo de aplicaciones móviles requiere el uso de entornos de desarrollo integrados. Las

aplicaciones móviles suelen ser probadas primero usando emuladores, y más tarde se ponen en el mercado en periodo de prueba. Actualmente, existe un gran número de empresas que se dedican a la creación profesional de aplicaciones.

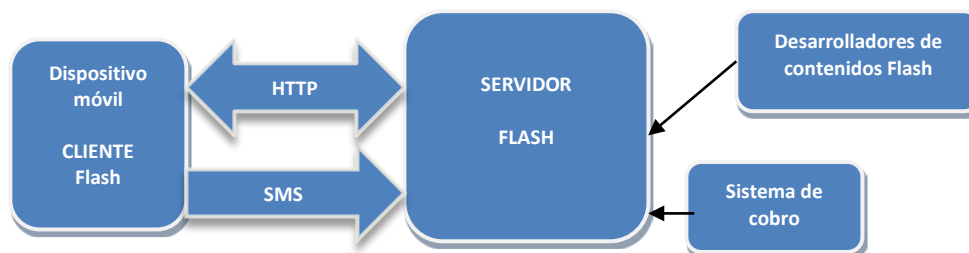
El sistema operativo de los teléfonos móviles sirve de soporte a las aplicaciones externas, que pueden servirse de las funciones proporcionadas por el teléfono para desempeñar su servicio gracias al *middleware* que proporciona la capa de abstracción para funciones como navegadores, comunicación y reproductores, entre otros. Para ejecutar las aplicaciones, los sistemas operativos se sirven de máquinas virtuales, un tipo de *software* que simula a una computadora y puede ejecutar programas como si fuese una computadora real como, por ejemplo, Java Virtual Machine (JVM). Los programadores de aplicaciones compilan *apps* para diferentes sistemas operativos y las facilitan a los usuarios como *software* preinstalado en los dispositivos a través de los operadores de red o mediante compra directa.

3.3.13. Funciones del software para aplicaciones

Las aplicaciones de un dispositivo multimedia deben de ser capaces de proporcionar a los usuarios sus servicios mediante un entorno intuitivo y estético. Para lograr este objetivo, las aplicaciones suelen usar servidores que distribuyen contenidos multimedia a través de las redes de radiodifusión. Por ejemplo, Flash Lite de Adobe ha sido empleado por multitud de desarrolladores para diseñar webs y contenidos multimedia con animaciones que requieren pocos recursos de ancho de banda para su transmisión. Flash Lite de Adobe está adaptado además a los recursos disponibles en los teléfonos móviles en términos de tamaño de pantalla, píxeles, colores y recursos de red. La red FOMA (*Freedom of Mobile Multimedia Access*), por ejemplo, ha empleado muchos contenidos generados por Flash.

El contenido Flash funciona en los teléfonos móviles mediante una arquitectura cliente-servidor. El cliente, gracias al sistema operativo y al *software* de su dispositivo móvil, interacciona con el servidor de contenidos Flash accediendo vía protocolo HTTP o HTTPS. Después, el servidor envía el contenido Flash al cliente y le carga el coste si corresponde.

Figura 51. Arquitectura de transporte de contenido Flash cliente-servidor.



3.3.13.1. Java Virtual Machine

JVM (Java Virtual Machine) es una máquina virtual de proceso nativo, es decir, ejecutable en una plataforma específica, capaz de interpretar y ejecutar instrucciones expresadas en un código binario especial (el *bytecode* Java), el cual es generado por el compilador del lenguaje Java.

El código binario de Java no es un lenguaje de alto nivel, sino un verdadero código máquina de bajo nivel, viable incluso como lenguaje de entrada para un microprocesador físico. Como todas las piezas de la plataforma Java, fue desarrollado originalmente por la compañía Sun Microsystems (actualmente Oracle).

La JVM es una de las piezas fundamentales de la plataforma Java. Básicamente, se sitúa en un nivel superior al *hardware* del sistema sobre el que se pretende ejecutar la aplicación, y éste actúa como un «puente» que entiende tanto el *bytecode* como el sistema sobre el que se pretende ejecutar. Así, cuando se escribe una aplicación Java, se hace pensando que será ejecutada en una máquina virtual Java en concreto, siendo ésta la que en última instancia convierte el código *bytecode* en código nativo del dispositivo final.

La gran ventaja de JVM es que aporta portabilidad al lenguaje, de manera que desde Sun Microsystems se han creado diferentes máquinas virtuales Java para diferentes arquitecturas y, así, un programa escrito en Windows puede ser interpretado en un entorno Linux, tan sólo es necesario disponer de una máquina virtual para ese entorno.

Existen varias versiones de JVM. En general, la definición del Java *bytecode* no cambia significativamente entre versiones y, si lo hace, los desarrolladores del lenguaje procuran que exista compatibilidad hacia atrás con los productos anteriores.

La plataforma Java Micro Edition (Java ME), anteriormente Java 2 Micro Edition (J2ME), es una especificación de un subconjunto de la plataforma Java orientada a proveer una colección certificada de APIs de desarrollo de *software* para dispositivos con recursos restringidos. Está orientada a productos de consumo como PDAs, teléfonos móviles o electrodomésticos, y funciona en JVM. Java ME y J2ME están muy extendidos en el entorno de la telefonía móvil y se pueden encontrar en miles de millones de dispositivos.

3.3.14. Dispositivos para la televisión digital en movilidad y los servicios multimedia

Los dispositivos móviles son una de las piezas fundamentales a tener en cuenta a la hora de implementar un servicio de televisión digital en movilidad o multimedia. El mercado de la telefonía móvil actual está repleto de dispositivos con múltiples capacidades distintas. Hace ya unos años que los teléfonos móviles comenzaron a tener pantallas lo suficientemente grandes como para convertirse en reproductores multimedia por derecho propio. Además, muchos teléfonos también incorporan múltiples aplicaciones de ofimática y negocios como las BlackBerry, o multimedia como los *smartphones*. Los teléfonos móviles actuales operan en las redes 3G, HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) o LTE (*3G Long Term Evolution*), mientras mantienen además sus servicios básicos de llamada de voz. Pero aún en el mercado actual, todavía es difícil encontrar teléfonos móviles con un sintonizador para la recepción de televisión digital por vía terrestre.

Otro problema para la implementación de la televisión digital en movilidad reside en el hecho de que la mayoría de operadores que se atreven a ofertar servicios de televisión móvil lo hacen de manera restringida a los usuarios de su red. Esto les lleva a cuestionarse por el tipo de audiencia al que se deben dirigir y si se generará una masa crítica suficiente de usuarios con dispositivos capaces de recibir el servicio y hacerlo rentable.

Se pueden considerar varios ejemplos distintos de implantación de la televisión digital en movilidad en el mundo. Japón y Corea del Sur lanzaron servicios libres y gratuitos de televisión móvil, bajo los sistemas ISDB-T 1 Seg (*Integrated Services Digital*

Broadcasting-Terrestrial 1 Segment) y T-DMB (*Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting*) respectivamente, con unos resultados excelentes de rápida penetración del servicio en la población. En Japón, había más de 60 millones de teléfonos móviles con sintonizador 1 Seg en 2009, y el 85% de los nuevos dispositivos que salían al mercado incluían el sintonizador en su arquitectura. En Corea del Sur, también es habitual que los teléfonos móviles incluyan un sintonizador T-DMB, lo que ha generado un mercado atractivo para los operadores de señal de televisión digital en movilidad.

Pero en Europa, sólo se han realizado unos tímidos intentos en algunos países por implantar la televisión digital en movilidad bajo el sistema DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*) como servicio de pago, lo que ha derivado en una penetración en la sociedad apenas reseñable. La excepción fue 3 Italia, pionera en el lanzamiento de servicios DVB-H en Europa, que ofertó el acceso libre y gratuito a los canales RAI 1, RAI 2, Mediaset, Sky Meteo 24 y La 3. En Europa, los operadores han optado por ofertar servicios de televisión digital en *streaming* vía redes 3G aprovechando que la mayoría de *smartphones* del mercado europeo tienen capacidad 3G. El problema más común con esta fórmula para la implantación de la televisión digital en movilidad ha sido el de la encriptación de la señal de televisión digital para que sólo puedan acceder los abonados a los servicios.

En los Estados Unidos, los operadores comenzaron a proporcionar servicios ATSC M/H (*Advanced Television Systems Committee Mobile/Handheld*) gratis y en abierto, pero no se produjo el mismo efecto que en Japón, ya que la mayoría de teléfonos móviles carecían de un sintonizador de ATSC M/H. Se plantearon soluciones como proporcionar tarjetas USB con receptores, pero una solución así resulta difícil de implementar dado el gran número de tipos de teléfonos móviles en el mercado, cada uno funcionando en una frecuencia determinada y con *hardware* diferente. Otra solución es que los operadores sean quienes proporcionen a los usuarios también los dispositivos móviles para recibir su servicio, como hacían las operadoras AT&T y Verizon Wireless con el servicio MediaFLO (*Media Forward Link Only*). Este sistema les permitía además proporcionar a sus clientes otros servicios exclusivos como información, interactividad, y vídeo y audio bajo demanda.

Hoy en día, la implantación de la televisión digital en movilidad requiere que se preste especial atención a los teléfonos móviles, a la potencia de sus *chipsets* para generar gráficos 3D o renderizar vídeo, y al sistema operativo que soportará las aplicaciones y funciones; y esta responsabilidad no es sólo de las operadoras de señal de televisión digital en movilidad, recae también en los fabricantes de teléfonos móviles, que deberán trabajar junto con las operadoras si quieren ser capaces de perseverar en un mercado con una altísima competencia.

3.3.15. Tipos de dispositivos receptores

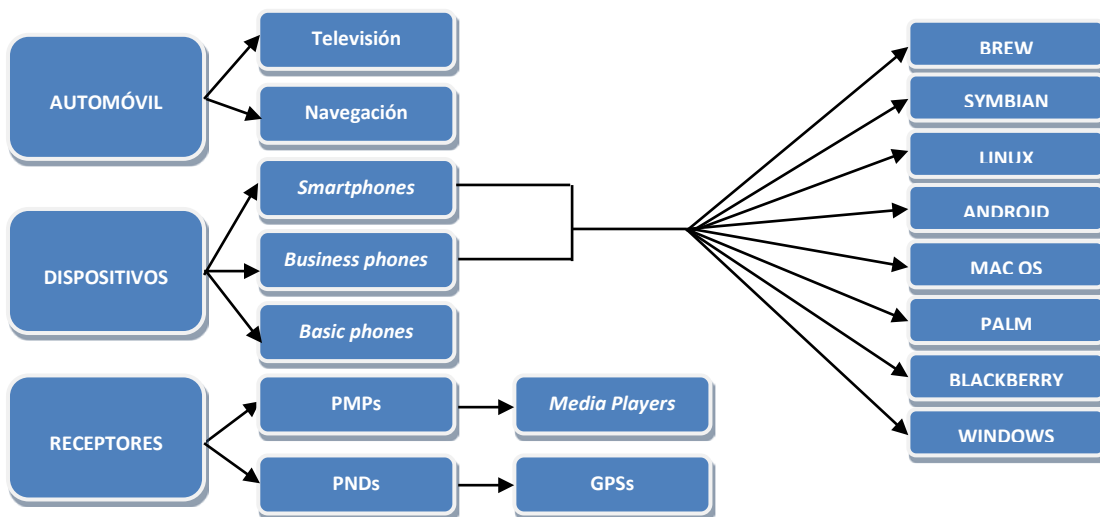
Los receptores de televisión digital en movilidad no están limitados a los dispositivos móviles o a los teléfonos móviles, aunque estos constituyan la mayoría de dispositivos con capacidad de radiotransmisión y recepción. Otros dispositivos receptores serían los sistemas portátiles de navegación (*Portable Navigation Device* o PNDs), los sistemas personales de reproducción (*Personal Media Player* o PMPs), los receptores de los vehículos e incluso algunos dispositivos móviles de sobremesa. De hecho, los receptores instalados en vehículos son uno de los principales objetivos de las operadoras de televisión digital por satélite.

Originalmente, los operadores de señal de telefonía, los de televisión terrestre, los de navegación GPS y los de televisión por satélite operaban por separado; pero hoy en día es común encontrar dispositivos móviles capaces de operar en dos o más de estas redes simultáneamente. Muchos dispositivos móviles se sirven además de las redes 3G para tener un canal de retorno y permitir así la interactividad.

En el entorno de la movilidad actual, se puede diferenciar entre dispositivos capaces de recibir televisión digital en movilidad por vía terrestre en alguno de los sistemas que existen (DVB-H, DMB, ATSC M/H, ISDB-T, etc.), que pueden ser portátiles o de sobremesa; también están los dispositivos capaces de recibir televisión digital en movilidad por vía satélite (S-DMB o DVB-SH, entre otros); los dispositivos de navegación GPS, que en ocasiones incluyen sintonizadores de televisión digital en movilidad o capacidades 3G; los teléfonos móviles con sintonizador de alguno de los sistemas tecnológicos para la televisión digital en movilidad (DVB-H, DMB, ATSC M/H, ISDB-T, etc.); y los *smartphones* con capacidades 3G, HSDPA y LTE. Es de

capital importancia para los operadores de señal de televisión digital en movilidad el entender el mercado en el que se hallan, los tipos de dispositivos disponibles y los sistemas operativos más extendidos, para así poder crear productos y *software* capaces de competir en el entorno de la televisión digital en movilidad

Figura 52. Clasificación de tipos de dispositivos móviles para la televisión digital en movilidad.



3.3.16. Características de los dispositivos Rich Multimedia

Los dispositivos móviles ya no pueden ser únicamente sistemas de comunicación por voz o televisiones móviles. El usuario actual espera todo tipo de funcionalidades diferentes combinadas en su dispositivo móvil, que además sean fáciles de usar y que tengan una presentación en pantalla atractiva. Esto quiere decir pantallas táctiles, comandos por voz, aplicaciones intuitivas y capacidad de conexión a múltiples redes, entre otras funciones.

Tabla 36. Funciones de los distintos tipos de teléfonos móviles.

Tipo de dispositivo	Función
Básico	Llamada de voz SMS MMS Agenda de contactos Polítonos Perfiles 3G
Multimedia (<i>Smartphone</i>)	Audio y vídeo de alta calidad (AAC+, MPEG-4) 3G+, HSDPA, EV-DO o LTE Reproductores (Windows Media, iTunes, Real, DivX, Flash, etc.) Descargas y almacenamiento Gestión, edición y transmisión de vídeo Televisión en directo (<i>streaming</i> o vía radiodifusión terrestre)
Business	<i>Email</i> Ofimática (gestión y edición de documentos)

3.3.16.1. Características de los teléfonos móviles multimedia

A continuación, se exponen con más detalle las características de los teléfonos móviles multimedia. Una de los requisitos más básicos de un teléfono móvil multimedia es que debe de ser capaz de mostrar vídeo como mínimo en QVGA (240x360 píxeles) con más de 250 000 colores y a tasas de *frames* de 25 fps o 30 fps. En la siguiente tabla se enumeran algunos otros requisitos considerados esenciales.

Tabla 37. Características esenciales de los teléfonos móviles multimedia.

Externas	Internas
<ul style="list-style-type: none"> - Pantalla grande (en torno a 4") -Audio estéreo de alta fidelidad (MP3 o AAC+) -Puertos externos (TV-out, USB, FireWire, etc.) -Wireless (Bluetooth, Wireless LAN, Wi-Fi, WiMAX, etc.) -Radio FM -Cámara de fotos y vídeo (delantera y trasera) de hasta 16 MP -Tarjeta Micro SD 	<ul style="list-style-type: none"> -Conectividad: GPRS, EDGE, CDMA, 3G-GSM, CDMA2000, EV-DO -Bandas: 800, 850, 1800, 1900 y 2100 MHz. -Audio: AAC, AMR, RealAudio, WAV, MIDI, MP3 y MP4 -Vídeo: 3GPP, H.263, H.264, Windows Media, RealVideo, AVI y MOV -Sistema operativo: Android, MAC OS, Windows, Linux, Symbian, Palm, BlackBerry OS, etc. -Aplicaciones: navegador HTML, <i>email</i>, reproductores, ofimática -Reconocimiento de voz y llamada por voz -PIM (<i>Personal Information Manager</i>) -Videollamada -Juegos -Escáner -Galería y editor de imágenes -Mensajería: SMS, MMS, <i>email</i> y <i>chat</i>

A esta lista de requisitos esenciales se le podría sumar otros como el GPS y los servicios basados en la localización, los servicios de banda ancha como WiMAX y los juegos avanzados en 3D.

Todas estas aplicaciones de televisión y multimedia conllevan una considerable demanda de los recursos del teléfono móvil en términos de consumo eléctrico, memoria, conectividad a las redes y gestión de gráficos; por lo que los teléfonos móviles actuales vienen equipados con CPUs⁷⁶ de alto rendimiento, e incluyen memorias de hasta 32 y 64 GB (ampliables con tarjetas Micro SD⁷⁷) y hasta 2 GB de memoria RAM. Los teléfonos móviles más avanzados también suelen soportar resolución HD (1080 x 1920 píxeles).

⁷⁶ La Unidad Central de Procesamiento (del inglés *Central Processing Unit* o CPU) es el *hardware* dentro de una computadora que interpreta las instrucciones de un programa informático mediante la realización de las operaciones básicas aritméticas, lógicas y de entrada y salida del sistema.

⁷⁷ Las tarjetas Micro SD o Transflash corresponden a un formato de tarjeta de memoria Flash más pequeña que la Mini SD, desarrollada por SanDisk y adoptada por la Asociación de Tarjetas SD.

3.3.17. Arquitectura de los teléfonos móviles

Los teléfonos móviles actuales deben de soportar múltiples aplicaciones multimedia, funciones e interfaces diferentes. Vienen equipados con sintonizadores de televisión digital en movilidad, decodificadores, GPS, aplicaciones de navegación, acelerómetros, y demás funciones que requieren de *chipsets* adicionales para poder ser gestionadas. Esto ha llevado a que los teléfonos móviles actuales requieran de CPUs capaces de realizar procesos altamente intensivos, comparables a los que realiza un ordenador de sobremesa. De hecho, se ha calculado que la capacidad de procesamiento de un teléfono móvil de última generación actual es aproximadamente la misma que la de un ordenador personal de sobremesa de hace diez años.

Son muchos los factores que determinan qué teléfonos móviles cumplen los requisitos de una operadora, y son las operadoras las que someten a prueba el *software* y *hardware* de los teléfonos antes de certificarlos para operar en sus redes.

Las redes móviles, como se ha visto, se basan en varias tecnologías como GSM, GPRS, EDGE, 3G-GSM (UMTS), 3G-CDMA (CDMA2000/CDMA 1x), EV-DO o LTE. La radiodifusión de televisión digital en movilidad depende, además, de tecnologías como DVB-H, DVB-T, S-DMB, T-DMB, ATSC M/H y otras como ISDB-T, DAB, etc. La mayoría de los teléfonos móviles no están diseñados para soportar todas estas redes y tecnologías. Por eso, existen diferentes modelos de teléfonos móviles validados para soportar una o varias de estas tecnologías. También se pueden encontrar teléfonos móviles capaces de funcionar en la mayoría de redes móviles que existen, lo que permite su uso en casi todo el mundo, pero no ocurre lo mismo con las tecnologías para la radiodifusión de la televisión digital en movilidad.

El *software* y las aplicaciones constituyen otro factor importante debido a que la mayoría de operadores emplean *software* específico para ofrecer sus propios servicios como ESG (*Electronic Service Guide*). En muchos casos, estos servicios propios se basan también en *software* de uso común, como Adobe Flash, para poder ser visualizados en el teléfono móvil del cliente, lo que requiere además por parte de la operadora el asegurarse de que el teléfono móvil de su cliente disponga de ese *software*. Como ya vimos, NTT DoCoMo ha basado su red móvil en el uso de Adobe Flash por

parte de sus clientes. Java es otro *software* con presencia en casi todos los teléfonos móviles del mundo, que lo necesitan para implementar sus aplicaciones.

El interfaz y el sistema operativo del teléfono móvil constituyen otro factor determinante a la hora de ser validados por las operadoras. La red NTT DoCoMo, como se ha visto, lanzó su interfaz FOMA basándose en el sistema operativo Symbian y en la interfaz UIQ (*User Interface Quartz*).

La capacidad de gestionar y almacenar los archivos multimedia también es tenida en cuenta por las operadoras a la hora de validar un teléfono móvil. Cada vez es más importante el poder gestionar y reproducir múltiples formatos de archivos de audio y vídeo. La capacidad de almacenamiento de audio y vídeo, ya sea interna o externa (tarjetas Micro SD), también ha cobrado gran importancia desde que los teléfonos móviles se han convertido en reproductores de música y vídeo, tanto en directo como descargada.

La capacidad de poder capturar imágenes y vídeo para luego compartirlo con otros usuarios resulta fundamental para poder ofertar servicios de interactividad. Esto requiere que el teléfono móvil tenga una cámara (o dos en algunos modelos) y que pueda gestionar formatos compatibles con 3GPP como MP4 o H.264 en varias resoluciones diferentes. El teléfono móvil también tiene que tener reproductores capaces de soportar los formatos de vídeo más comunes como Windows Media, Real, DivX y Flash, entre otros.

La gestión de archivos de audio requiere que los teléfonos móviles dispongan de decodificadores y reproductores de MP3, RealAudio, Windows Media, MPEG-4 audio (AAC) y AAC+, entre otros, además de los formatos nativos como WAV y MIDI, y los *códecs* para voz como AMR-NB y AMR-WB. La mayoría de teléfonos móviles actuales soportan múltiples formatos de archivos de audio en estéreo y disponen de conexiones Mini-Jack como salidas de audio. Con el audio también cobra importancia la capacidad de almacenamiento del teléfono móvil, interna y externa.

Los teléfonos móviles están en constante evolución y desarrollo, y los fabricantes compiten ampliando sus funciones y capacidades constantemente, lo que ha derivado en

que los modelos de teléfonos móviles más populares sean considerados como series con un conjunto de propiedades y atributos básicos que mejoran con cada nuevo modelo, como ocurre con la serie Galaxy de Samsung o los iPhone de Apple.

3.3.18. Dispositivos para 3G

Un buen ejemplo de dispositivo 3G podría ser el primer teléfono móvil con capacidad 3G comercializado por una operadora en España, el Grundig GR980, que era un teléfono/PDA que lanzó Movistar (Telefónica) a finales de 2005.

Foto 20. Teléfono móvil/PDA Grundig GR980. Imagen tomada del sitio: Hipertextual.
<http://hipertextual.com/archivo/2006/01/grundig-gr980-el-primer-movil-y-pda-3g-de-espana/>



El Grundig GR980 operaba en las redes móviles GSM/GPRS y UMTS y también tenía conectividad Wi-Fi, además de todos los servicios de Movistar como Correo Movistar y Escritorio Movistar, junto con un GPS.

Especificaciones del Grundig GR980:

- Red: UMTS más GSM/GPRS 900/1800/1900 MHz.
- Conectividad: Wi-Fi (802.11b), Bluetooth, IrDA y USB.
- Procesador: Qualcomm MSM6250 más Intel Bulverde 520 MHz.
- Pantalla: 3,6" TFT-LCD de 480x640 píxeles y 64 000 colores.
- Memoria: 128 MB Flash ROM más 64 MB SDRAM.
- Cámara: CMOS 1,3 MP camera con *flash* y cámara secundaria CIF para videollamadas.
- Altavoces estéreo.

- Dimensiones: 131,6x79x21,6 mm y 285 gr.

Otro ejemplo de dispositivo 3G más avanzado sería el iPhone 3G de Apple, que irrumpió en el mercado a mediados de 2008. El iPhone 3G fue un teléfono inteligente multitáctil de gama alta similar a su predecesor, pero que incluía varias características nuevas en cuanto a *hardware* tales como GPS asistido, datos 3G y soporte tribanda UMTS/HSDPA. El iPhone 3G también poseía mejoras a nivel de *software* presentes en el iOS 2.0 que fue lanzado al mismo tiempo, además de otras características adicionales como correo electrónico tipo *Push* y navegación *turn-by-turn*. El iOS 2.0 marco al inicio del App Store, la plataforma de distribución para aplicaciones de terceros de Apple.

Especificaciones del iPhone 3G:

- Pantalla: 3,5" de 320x480 píxeles *multitouch* y 265 000 colores.
- Dispositivos de entrada: el botón de Inicio (el botón redondo con un símbolo de un cuadrado), el botón de Encendido/Apagado/Reposo/Activación (en la parte superior derecha del aparato) y la pantalla capacitiva.
- Cámara de 2 MP.
- Sistema de posicionamiento por detección de células de redes Wi-Fi.
- Procesador: Samsung S5L8900 ARM11 (412 MHz, procesador ARM 1176, GPU: PowerVR MBX).
- Memoria: 128 MB DRAM.
- Capacidad de almacenamiento: 8 GB o 16 GB de memoria Flash.
- Sistema Operativo: iOS.
- Tribanda: UMTS/HSDPA. UMTS 850/1900/2100.
- Cuatribanda: GSM/GPRS/EDGE. GSM 850/900/1800/1900.
- Conectividad: Wi-Fi (802.11b/g). Bluetooth 2.0.
- Dimensiones: 115,5x62,1x12,3 mm y 133 gramos.
- Batería con una duración de 10 horas en conversación 2G, 5 horas en conversación 3G, 6 horas de uso de Internet, 7 horas de reproducción de vídeo y hasta 24 horas de reproducción de audio, durando más de 300 horas en reposo.
- A-GPS: Sistema de Posicionamiento Global Asistido.

Foto 21. Teléfono móvil iPhone 3G. Imagen tomada del sitio: Taringa.
<http://www.taringa.net/posts/info/9454739/40-Razones-para-no-comprar-el-iphone-3G.html>



3.3.18.1. Dispositivos HSDPA

Un ejemplo de teléfono móvil HSDPA podría ser el Samsung Z560, el primer teléfono móvil con tecnología 3G de banda ancha, también llamada HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*), que se lanzó en España a finales del 2006 y que proporcionaba una capacidad de transferencia cinco veces superior al 3G. El Samsung Z560 es un teléfono que incorpora, además de la tecnología HSDPA, diferentes funcionalidades multimedia como MPEG-4, AAC y AAC+. Está dotado de una cámara de dos megapíxeles con autoenfoco, pantalla interna TFT LCD de 262 144 colores (240x320 píxeles) y otra externa de 65 536 (96x96 píxeles). La transferencia de información se puede realizar a través de Bluetooth y USB. Tiene una memoria interna de 30 MB y una ranura de expansión Micro SD que le otorga total autonomía e independencia para almacenar gran cantidad de información, canciones MP3 y vídeos. El Z560 ofrece un amplio abanico de aplicaciones 3G, entre las que destacan la videollamada, los mensajes con vídeo y la capacidad para reproducir MP3 con calidad de sonido 3D.

Foto 22. Teléfono móvil Samsung Z560. Imagen tomada del sitio: PC World España.
<http://www.pcworld.es/smartphones/vodafone-y-samsung-comercializan-el-primer-movil-3g-de-banda-ancha-en-espana>



3.3.18.2. Dispositivos CDMA

Los teléfonos móviles con servicios CDMA (*Code Division Multiple Access*) están disponibles a través de múltiples fabricantes. Pueden incluir cualquier sistema operativo como BREW, Symbian, iOS o Android. El problema de los teléfonos móviles CDMA es que están sujetos al empleo de las redes móviles CDMA, que están menos extendidas que las GSM. En los Estados Unidos, la compañía Sprint Corporation posee la tercera red móvil más grande del país y opera en CDMA. La plataforma Sprint se caracteriza por soportar Java para sus aplicaciones.

Un ejemplo de teléfono móvil que funciona en la plataforma Sprint sería el HTC Apache.

Especificaciones del HTC Apache:

- Tecnología: CDMA 1x RTT/EV-DO
- Procesador: 416 MHz PXA270
- Conectividad: Bluetooth, 802.11b Wi-Fi.
- Cámara de 1,3 MP.
- Teclado QWERTY deslizante.
- Pantalla táctil TFT de 2,88" y 64 000 colores.
- Altavoces estéreo.
- Puerto USB.
- Mini SD.
- Sistema operativo: Windows Mobile.

Foto 23. Teléfono móvil HTC Apache. Imagen tomada del sitio: The Gadgeteer. http://the-gadgeteer.com/2006/01/17/htc_apache_ppc_6700_pocket_pc_phone_edition/



La compañía Verizon, en los Estados Unidos, también tiene una red CDMA basada en BREW.

3.3.19. Dispositivos para radiodifusión terrestre

Las operadoras de señal de radiodifusión terrestre emplean tecnologías como DVB-H, ATSC M/H, T-DMB y CMMB, entre otras, para ofertar servicios de televisión digital en movilidad a clientes que no son de su dominio, sino que son suscriptores de las redes de las operadoras móviles. La radiodifusión terrestre de televisión digital en movilidad no requiere de las tecnologías 3G o HSDPA en las que se basa la televisión digital en movilidad por transmisión de datos en redes móviles. Para poder recibir televisión digital en movilidad por vía terrestre, los teléfonos móviles deben de tener un sintonizador y un decodificador para poder procesar la señal. El conseguir una masa crítica suficiente de usuarios de teléfonos móviles con estos requisitos ha probado ser muy difícil, salvo en los territorios donde los servicios de radiodifusión terrestre de televisión digital en movilidad se ofertaron de manera gratuita en sus inicios como Corea del Sur y Japón.

3.3.19.1. Dispositivos T-DMB

El éxito alcanzado por los servicios gratuitos de T-DMB (*Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting*) en Corea del Sur ha propiciado el desarrollo de múltiples teléfonos móviles con sintonizadores T-DMB como el E-ten Glofiish V900, que además es compatible con la gran mayoría de las tecnologías de radiodifusión más comunes. Este teléfono es tribanda y dispone de conectividad 3G, siendo compatible con HSDPA,

además de incorporar Wi-Fi y Bluetooth 2.0. Viene equipado con el sistema operativo Windows Mobile 6.1 Professional, siendo uno de los primeros modelos Dual-SIM⁷⁸ que vienen con él. Su pantalla táctil tiene un tamaño de 2,8 pulgadas y ofrece una resolución de 640x480 píxeles. Incorpora una cámara de fotos con 3 megapíxeles de resolución y autoenfoco. También incluye GPS.

Especificaciones del E-ten Glofiish V900:

- Sistema operativo: Windows Mobile 6.1 Professional.
- Procesador: Samsung S3C 6400 533 MHz.
- Dimensiones: 106x60, 5x18 mm y 147 gramos.
- Pantalla: 2,8" (640x480 píxeles) y 65 000 colores.
- Cuatribanda: GPRS, EDGE, UMTS, HSDPA. GSM 850/900/1800/1900.
- Memoria: 128 MB.
- Cámara de 3 MP.
- Micro SD.
- Conectividad: Wi-Fi (802.11b/g). Bluetooth 2.0.
- Sintonizador de televisión: T-DMB o DVB-H.
- Puerto USB.
- GPS.

Foto 24. Teléfono móvil E-ten Glofiish V900. Imagen tomada del sitio: Blog de móviles.
<http://www.blogdemoviles.com.ar/e-ten-glofiish-v900/>



⁷⁸ Un dispositivo MultiSIM, o como se les llama ya popularmente "Dual-SIM", es un teléfono móvil o un módem USB que posee dos o más ranuras para introducir dos o más tarjetas SIM.

3.3.19.2. Dispositivos DVB-H

Los intentos de implantación del sistema DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*) en todo el mundo han dado lugar a la aparición de varios modelos de teléfono móvil con sintonizadores para esta tecnología.

Un ejemplo de teléfono móvil con sintonizador DVB-H es el Nokia N92, que apareció a principios de 2006 y fue el primer dispositivo comercializado por la compañía finlandesa Nokia con soporte para la recepción terrestre de televisión digital en movilidad.

Especificaciones del Nokia N92:

- Sistema operativo: Symbian.
- Dimensiones: 107x58x25 mm y 191 gramos.
- Pantalla: 2,8" (240x320 píxeles) y 16 millones de colores.
- Redes: GSM, GPRS, EDGE, UMTS 900/1800/1900. WCDMA 2100.
- Cámara de 2 MP.
- Memoria: 90 MB.
- Micro SD.
- Conectividad: Wi-Fi (802.11b/g). Bluetooth 2.0. UPnP (*Universal Plug and Play*). Infrarrojos. USB 2.0.
- Sintonizador DVB-H.

Foto 25. Teléfono móvil Nokia N92. Imagen tomada del sitio: Xataka móvil.
<http://www.xatakamovil.com/marcas/se-acerca-el-nokia-n92-tv>



3.3.19.3. Dispositivos ATSC M/H

El sistema tecnológico para la televisión digital en movilidad ATSC M/H (*Advanced Television Systems Committee Mobile/Handheld*) es relativamente reciente, por lo que no existen muchos modelos de teléfonos móviles equipados con sintonizadores para este sistema. Uno de los teléfonos móviles empleados en los primeros ensayos de ATSC M/H en el año 2009 fue el LG Voyager.

Especificaciones del LG Voyager:

- Dimensiones: 118x54x18 mm y 133 gramos.
- Pantalla: 2,8" TFT táctil (400x240 píxeles) y 262 144 colores.
- Redes: CDMA 800/1900. EV-DO.
- Cámara de 2 MP.
- Memoria: 184 MB.
- Micro SD/Micro SDHC.
- Conectividad: Bluetooth 1.2. USB.
- Altavoces estéreo.
- GPS.
- Sintonizador ATSC M/H.

Foto 26. Teléfono móvil LG Voyager. Imagen tomada del sitio: CNET.
<http://www.cnet.com/products/lg-voyager/>



3.3.19.4. Dispositivos MediaFLO

Los dispositivos con tecnología MediaFLO (*Media Forward Link Only*) son muy escasos, y los pocos que existen fueron comercializados por AT&T y Verizon Wireless. Uno de los dispositivos a los que se incorporó tecnología MediaFLO fue el LG Voyager

que acabamos de ver. Otro podría ser el Motorola Krave ZN4.

Especificaciones del Motorola Krave ZN4:

- Dimensiones: 105x51x19 mm y 130 gramos.
- Pantalla: 2,8” táctil (240x400 píxeles) y 65 536 colores.
- Redes: CDMA 800/1900. EV-DO.
- Cámara de 2 MP.
- Memoria: 0,13 GB.
- Micro SD/Micro SDHC.
- Conectividad: Bluetooth. USB.
- Altavoces estéreo.
- GPS.
- Sintonizador MediaFLO.

Foto 27. Teléfono móvil Motorola Krave ZN4. Imagen tomada del sitio: Top Tech Reviews.
<http://www.toptechreviews.net/mobiles-phones/motorola-mobiles-phones/motorola-krave-zn4-has-an-eye-catching-design/>



3.3.19.5. Dispositivos ISDB-T

ISDB-T (*Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial*) es una tecnología para la radiodifusión de televisión digital terrestre empleada en Japón y gran parte de Sudamérica. La tecnología ISDB-T también se emplea para la radiodifusión de televisión digital en movilidad con el nombre 1 Seg (*1 Segment*). En Japón, la mayoría de teléfonos móviles que se comercializan tienen incorporado un sintonizador 1 Seg, así que el dispositivo puede recibir televisión digital en movilidad por vía terrestre y permanecer a la vez conectado a una red 3G con todas sus funciones multimedia. Con

un mercado para servicios ISDB-T plenamente desarrollado, en Japón se pueden encontrar multitud de dispositivos con tecnología ISDB-T 1 Seg. Un ejemplo de teléfono móvil con tecnología ISDB-T 1 Seg lo tendríamos en el modelo 905SH de la compañía japonesa Sharp.

Especificaciones del Sharp 905SH:

- Dimensiones: 49x105x27 mm y 143 gramos.
- Pantalla: 2,6" LCD (240x400 píxeles).
- Redes: GPRS, EDGE, 3G.
- Cámara de 2 MP.
- Memoria: 38 MB.
- Micro SD.
- Conectividad: Bluetooth. Wi-Fi. USB.
- Sintonizador de televisión analógica. Sintonizador ISDB-T 1 Seg.

Foto 28. Teléfono móvil Sharp 905SH. Imagen tomada del sitio: Phys Org.
<http://phys.org/news67179257.html>



3.3.20. Dispositivos satélite-terrestre

Las tecnologías como DVB-SH (*Digital Video Broadcasting–Satellite Handheld*), S-DMB (*Satellite-Digital Multimedia Broadcasting*) y CMMB (*China Mobile Multimedia Broadcasting*) se basan en la transmisión de una señal de televisión digital a un entorno en movilidad empleando un satélite y repetidores terrestres.

3.3.20.1. Dispositivos S-DMB

Corea del Sur tiene una red S-DMB (*Satellite-Digital Multimedia Broadcasting*) basada en transmisiones que emplean la banda S para el satélite y los repetidores. Los teléfonos móviles que soportan el servicio llevan antenas incorporadas. Un ejemplo de teléfono móvil con esta tecnología sería el Samsung SCH-B500.

Especificaciones del Samsung SCH-B500:

- Dimensiones: 88x43x17,9 mm y 79 gramos.
- Pantalla: 2,2" TFT-LCD (128x160 píxeles).
- Redes: CDMA, EV-DO.
- Memoria: 10 MB.
- Cámara de 2 MP.
- Micro SD.
- Conectividad: Bluetooth.
- Sintonizador de DMB.

Foto 29. Teléfono móvil Samsung SCH-B500. Imagen tomada del sitio: Unwired View.
<http://www.unwiredview.com/2007/03/21/samsung-sch-b500-magic-silver-gets-color-upgrades-samsung-b5000-and-b5050/>



3.3.21. Dispositivos CMMB

Los servicios CMMB (*China Mobile Multimedia Broadcasting*) se han desarrollado rápidamente en China donde unas 170 ciudades recibían señal de televisión digital en movilidad por este sistema a mediados de 2009. China emplea la tecnología TD-SCDMA (*Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access*) en sus redes 3G, por lo que su Ministerio de Industria y Tecnología de la Información ha otorgado a

varias compañías licencias para fabricar dispositivos TD-SCDMA/CMMB. Además, otros fabricantes como Samsung, Lenovo o Motorola, entre otros, están desarrollando dispositivos basados en OMS (*China Mobile's Open Mobile System*) el sistema operativo basado en Android (Linux) abierto que funciona en China y que también es conocido como Ophone. En China, se pueden encontrar múltiples modelos de dispositivos con capacidad GSM/CMMB y CDMA/CMMB, que pueden ser desde teléfonos móviles a PNDs o dispositivos GPS. Un ejemplo de teléfono móvil con tecnología CMMB sería el Lenovo TD39T CMMB TV.

Especificaciones del Lenovo TD39T CMMB TV:

- Sistema operativo: Linux.
- Pantalla: 2,4" táctil.
- Redes: GSM 850/900/1800/1900. TD-SCDMA.
- Memoria: 32 MB.
- Cámara.
- Conectividad: Bluetooth.
- GPS.
- Sintonizador de CMMB.

Foto 30. Teléfono móvil Lenovo TD39T CMMB TV. Imagen tomada del sitio: Smalltao.
<http://www.smalltao.com/product/16907226992/Kai%20Chen%20190%20Android%20advanced%20features%20GSM%20800%20%20480%20pixels>



3.3.22. Dispositivos para WiMAX

Samsung presentó el primer dispositivo WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), el Samsung Mondì, en enero de 2006. Posteriormente, múltiples

operadoras comenzaron a ofertar dispositivos con capacidad WiMAX. Un ejemplo de teléfono móvil GSM y WiMAX podría ser el HTC MAX 4G que ofrece la red Yota en Rusia desde el año 2009.

Especificaciones del HTC MAX 4G:

- Dimensiones: 113,5x63,1x13,9 mm y 151 gramos.
- Sistema operativo: Windows Mobile Professional.
- Pantalla: 3,8" TFT táctil (480x800 píxeles) y 65 536 colores.
- Redes: GSM, GPRS y EDGE 900/1800/1900 MHz.
- Cámara de 3,15 MP.
- Memoria: 256 MB.
- Micro SD.
- Conectividad: Bluetooth 2.0. USB. Wi-Fi 802.11 b/g. WiMAX 802.16e.
- Altavoces estéreo.
- GPS.
- Acelerómetro.

Foto 31. Teléfono móvil HTC MAX 4G. Imagen tomada del sitio: Engadget.
<http://www.engadget.com/tag/yota/>



Un ejemplo de teléfono móvil con tecnología WiBro (la versión asiática de la tecnología WiMAX) sería el coreano Samsung SPH-M8100 con soporte T-DMB, CDMA y WiBro.

Especificaciones del Samsung SPH-M8100:

- Dimensiones: 143x92x29,7 mm y 156 gramos.
- Pantalla: 2,8" TFT táctil (240x320 píxeles) y 65 536 colores.
- Redes: CDMA2000, 1xEV-DO 1900MHz.
- Cámara de 2 MP.
- Memoria: 128 MB.
- MMC Micro.
- Conectividad: Bluetooth. USB. WiMAX 802.16e

Foto 32. Teléfono móvil Samsung SPH-M8100. Imagen tomada del sitio: Techfresh.
<http://cellphones.techfresh.net/samsung-sph-m8100-smartphone/>



3.3.23. Navegadores

Muchos de los navegadores para vehículos actuales vienen con sintonizador de televisión incorporado. Un ejemplo de navegador GPS con capacidad para recibir televisión digital en movilidad podría ser el navegador Mio C728 de DiBcom, que incorpora una pantalla táctil de siete pulgadas y una resolución de 800x480 píxeles. Dispone de un *chipset* SiRFStar III de 20 canales y puede recibir información de tráfico en tiempo real. Tiene una memoria de 2 GB de capacidad, lector de tarjetas SD y una batería con autonomía de 2,5 horas. El sistema operativo es Windows CE .NET 5.0 y la aplicación de navegación es MioMap.

Foto 33. Navegador Mio C728. Imagen tomada del sitio: Mio. http://eu.mio.com/en_gb/c728.htm

3.3.24. Interoperabilidad en la Televisión Digital en Movilidad

Uno de los factores clave para la implantación de los servicios de televisión digital en movilidad y multimedia móvil en el mundo es su capacidad de funcionar en múltiples redes. Este problema lleva años ocupando a los actores del entorno de la televisión digital en movilidad: operadoras, organizaciones de estandarización, fabricantes y diseñadores de aplicaciones, entre otros. El mundo de la telefonía móvil está polarizado entre las redes 3G evolucionadas de la tecnología GSM (*Global System for Mobile communications*) y las evolucionadas de la tecnología CDMA (*Code Division Multiple Access*). Se requiere de la coordinación de todos los actores implicados para conseguir la interoperabilidad entre redes, la itinerancia (*roaming*) y la portabilidad de aplicaciones. Por eso, la industria invierte considerables recursos con el objetivo de alcanzar una armonización de estándares y dispositivos.

A comienzos del año 2000, la tecnología GSM se había extendido por todo el mundo permitiendo a los usuarios la itinerancia entre redes siempre que existiese un acuerdo comercial entre las operadoras y el teléfono móvil dispusiese de la tecnología adecuada. Pero una parte de la población mundial, especialmente en Japón, Corea del Sur, la India y los Estados Unidos, estaban suscritos a servicios basados en redes CDMA, con todas sus limitaciones a la interoperabilidad derivadas de su diseño tecnológico, las diferentes bandas de frecuencia y la insuficiencia de acuerdos comerciales entre las operadoras. En el año 2002, aparecen las primeras redes 3G basadas a su vez en tecnología GSM o CDMA según el territorio. El ejemplo de la tecnología FOMA (*Freedom of Mobile Multimedia Access*) en Japón demuestra las posibilidades del 3G al ofrecer a sus

usuarios un entorno intuitivo y atractivo con múltiples nuevas funciones. El mundo de la telefonía móvil se divide entonces entre el foro 3GPP (Third Generation Partnership Project), que pretende estandarizar todos los elementos en torno a la tecnologías UMTS (3G-GSM), y el foro 3GPP2, que pretende hacer lo mismo con todos los elementos en torno a las tecnologías CDMA2000 (3G-CDMA). Los dos proyectos consiguen coordinar los desarrollos tecnológicos de sus respectivas áreas centrando sus esfuerzos en el desarrollo de la interoperabilidad.

La irrupción de las tecnologías para la televisión digital en movilidad en el año 2004 añade una nueva dimensión al problema de la interoperabilidad. El mundo de la telefonía móvil ha evolucionado en torno a los estándares del 3GPP y el 3GPP2, y el mundo de la radiodifusión lo ha hecho en torno tecnologías basadas en los sistemas DVB (*Digital Video Broadcasting*), DMB (*Digital Multimedia Broadcasting*), ATSC (*Advanced Television Systems Committee*), 3G, FLO (*Forward Link Only*) e ISDB (*Integrated Services Digital Broadcasting*), que emplean todos diferentes bandas de frecuencia y técnicas de transmisión. Y, además, hay que sumar todos los servicios que han sido desarrollados independientemente por sus propias redes como Internet. Todo esto hace que la necesidad de la interoperabilidad cobre nuevas fuerzas y comiencen a formarse grupos con el objetivo de lograr la armonización de estándares. Aparecen la OMA (Open Mobile Alliance), el BMCOFORUM (Broadcast Mobile Convergence Forum), la OHA (Open Handset Alliance), la OMVC (Open Mobile Video Coalition) y muchas otras asociaciones para el desarrollo de la televisión digital en movilidad.

La interoperabilidad en la televisión digital en movilidad se puede alcanzar por dos vías: Una sería logrando que los sistemas técnicos para la televisión digital en movilidad sean cada vez más genéricos, lo que implica que usen tecnologías, *chipsets* y dispositivos comunes a otros sistemas técnicos. La otra vía se aplica a los distintos territorios y regiones, donde se están intentando armonizar los perfiles de implementación para acercar los de unos sistemas técnicos a otros.

La interoperabilidad en la televisión digital en movilidad vía difusión terrestre se consigue trabajando sobre los requisitos de la recepción: tener un dispositivo con el sintonizador adecuado, ser suscriptor del servicio o poseer los derechos de recepción, y disponer de los reproductores y *códecs* adecuados. Se están desarrollando marcos de

referencia para aplicaciones buscando el que puedan operar en cualquier tipo de red mediante la suscripción a plataformas de gestión de servicios de radiodifusión que identifican al usuario mediante las tarjetas SIM u otras tarjetas inteligentes.

La interoperabilidad en la televisión digital en movilidad por Internet o televisión digital en movilidad por IP es muy sencilla desde que las redes móviles ofrecen también acceso a Internet. Los servicios multimedia basados en IP son cada vez más populares gracias a redes como WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) o tecnologías como Wi-Fi. Cada día aparecen más aplicaciones de multimedia en movilidad basadas en la conectividad IP.

La interoperabilidad en los servicios de televisión digital en movilidad basados en redes 3G es posible gracias a que hoy en día las redes 3G están extendidas por todo el mundo. Llegados a este punto, se debe diferenciar entre interoperabilidad y *roaming*, que es una faceta de la interoperabilidad. La interoperabilidad es la habilidad de dos o más sistemas o componentes para intercambiar información y utilizar la información intercambiada; mientras que el *roaming* (o itinerancia) es la capacidad de un dispositivo de comunicaciones inalámbrico para moverse de una zona de cobertura a otra.

3.3.24.1. Roaming

En telefonía móvil, la itinerancia o *roaming* es la capacidad de enviar y recibir llamadas en redes móviles fuera del área de servicio local de la propia compañía, es decir, dentro de la zona de servicio de otra empresa del mismo país, o bien durante una estancia en otro país diferente mediante el empleo de la red de una empresa extranjera. El servicio de itinerancia ha hecho posible que los usuarios de telefonía móvil adquieran una completa libertad de movimiento entre las áreas de cobertura de las diferentes empresas de telecomunicaciones. Para alcanzar este fin, ambas compañías (la prestadora original del servicio y la propietaria de la red en la que el cliente esté itinerando) deben tener suscrito un acuerdo de itinerancia en el que definan qué clientes tienen acceso al servicio y cómo se efectuará la conexión entre sus sistemas para encaminar las llamadas.

Parte del problema original a la hora de facilitar servicios de *roaming* residía en el hecho de que, históricamente, cada estándar de telefonía móvil ha emplazado sus

servicios en una banda de frecuencia diferente. Además de las bandas GSM (900, 1800 y 1900 MHz), en varios territorios del mundo se emplean otras bandas (850, 800 o 450 MHz). El desarrollo de *chipsets* capaces de funcionar en cualquier banda de frecuencia ha contribuido a solucionar el problema.

Aunque el servicio de *roaming* actual permite una comunicación inmediata y, en muchos casos, sin necesidad de ninguna solicitud adicional, es importante señalar que habitualmente el costo de transferencia de cada llamada y los costos de interconexión se cargarán al receptor de la llamada, no a la persona que llama (que no tiene por qué saber dónde se encuentra el abonado llamado). Así, el coste del servicio no aumenta para el usuario que desea contactar un número que se desplaza a otra zona.

El concepto de itinerancia también se puede aplicar a los terminales móviles liberados, puesto que uno mismo puede reducir los costes de *roaming*, tanto para el usuario emisor como para el receptor, usando una tarjeta SIM de alguno de los operadores móviles disponibles en la zona. Esta itinerancia es útil cuando se viaja al extranjero, lo que constituye una de las ventajas del sistema GSM. El Parlamento Europeo ha votado en abril de 2014 el final de los costes de itinerancia. Los recargos que cobran las compañías operadoras a sus clientes por el uso del móvil desde un país de la Unión Europea distinto al del usuario desaparecerán completamente el 15 de diciembre de 2015. A partir de entonces, el *roaming* dentro de la Unión Europea dejará de existir.

Existen dos tipos de itinerancia o *roaming*: uno en el que el terminal emplea los recursos de la red visitante como un canal para conectar con su red local original, y otro en el que el terminal es asignado un número IP en la red visitante y el acceso a todos sus recursos. Ni que decir tiene que todos los *roaming* son del primer tipo al principio.

El *roaming* entre redes 3GPP está actualmente muy afianzado gracias al uso de interfaces de radiodifusión comunes, la disponibilidad de dispositivos multibanda y a los acuerdos comerciales entre las distintas operadoras. Las redes 3GPP2 actuales dependen de la tecnología 1xEV-DO para poder proporcionar servicios de *roaming* al usuario, pero sólo para datos y llamadas por datos. Para las llamadas por voz, la red recurre a la tecnología CDMA 1xRTT, dificultando así la itinerancia de servicios como la videollamada.

Existen varias iniciativas para conseguir el *roaming* entre redes 3GPP y 3GPP2, casi todas basadas en la búsqueda de un terreno común en los protocolos de Internet y en los protocolos de establecimiento y liberación de la llamada; y se han dado pasos de cara a la armonización de los dos estándares, pero todavía no se ha logrado la interoperabilidad de los servicios de multimedia móvil y de televisión digital en movilidad entre los dos sistemas.

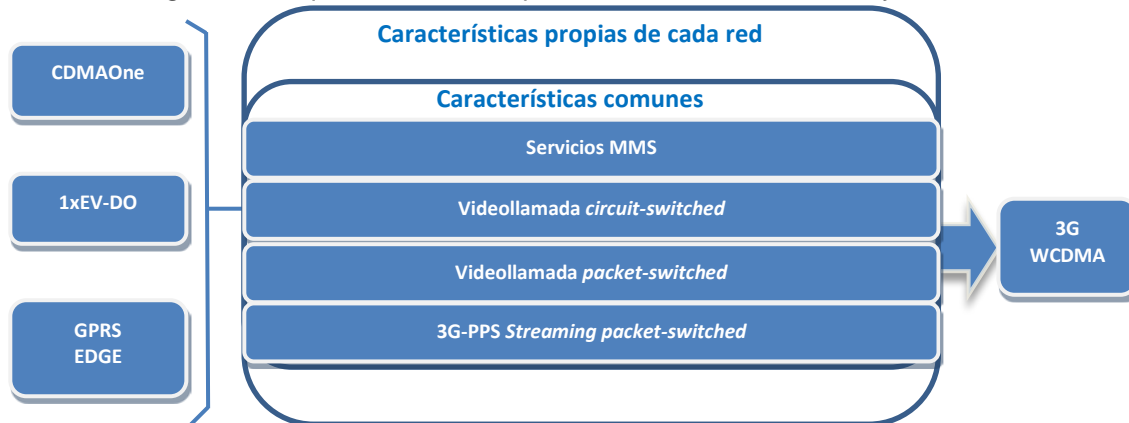
3.3.24.2. Interoperabilidad de los servicios multimedia

Para hablar de interoperabilidad de servicios multimedia tenemos que diferenciar entre interoperabilidad dentro de las redes 3GPP, interoperabilidad dentro de las redes 3GPP2 e interoperabilidad entre las redes 3GPP y 3GPP2.

En junio de 2005, el proyecto 3GPP publicó el documento *Video Telephony Circuit-Switched Implementation Guidelines 1.0* en el que se recogían todos los *códecs*, los procedimientos de establecimiento de llamada, los protocolos para el *múltiplex*, los protocolos de intercambio de medios, los protocolos de Internet y las pautas de *roaming* para poder establecer llamadas de acuerdo al estándar 3G-324M, el protocolo de comunicaciones del 3GPP para ofrecer servicios de videoconferencia en redes de telefonía móvil.

El IMTC (International Multimedia Telecommunications Consortium) ha realizado pruebas de interoperabilidad para servicios de videoconferencia (H.323), videollamadas en *circuit-switched* (3G-324M), servicios de *streaming packet-switched* (3G-PPS), establecimiento de sesión y de llamada (SIP), VoIP (*Voice over IP*) y videoconferencia sobre IP (H.320). Gracias a este trabajo, hoy en día servicios de voz, datos, SMS y MMS puedan enviarse entre redes 3G basadas en GSM y CDMA respectivamente. Aun así, la interoperabilidad entre redes 3GPP y 3GPP2 todavía tiene mucho camino que recorrer.

Figura 53. Esquema de la interoperabilidad entre redes 3GPP y 3GPP2.



A finales de 2003, la OMA (Open Mobile Alliance) publicó el estándar MMS 1.2 que definía los requisitos mínimos para transportar contenidos multimedia en un entorno de interoperabilidad entre las redes 3GPP y 3GPP2.

El estándar para videollamada en *circuit-switched* en redes 3G se llama 3G-324M. 3G-324M está basado en la especificación H.324 de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) para videoconferencia sobre redes *circuit-switched*. 3G-324M es indiferente a la red *circuit-switched* que utiliza, puede funcionar tanto en UMTS como en redes TD-SCDMA.

H.323 es el estándar de la UIT para videoconferencias en *packet-switched*. H.323 es utilizado comúnmente para servicios VoIP (*Voice over IP*) y para videoconferencias basadas en IP. Consiste en un conjunto de normas de la UIT para comunicaciones multimedia que hacen referencia a los terminales, equipos y servicios de establecimiento de señal en redes IP. No garantiza la calidad de servicio y en el transporte de datos puede, o no, ser fiable; de hecho, en el caso de voz o vídeo nunca es fiable. Además, es independiente de la topología de la red y admite pasarelas, permitiendo usar más de un canal de cada tipo (voz, vídeo, datos) al mismo tiempo.

El IMTC (International Multimedia Telecommunications Consortium) a través de su grupo PSS-AG (Packet-Switched Streaming Activity Group) ha realizado muchas pruebas de interoperabilidad entre dispositivos y redes en las que se compartían *clips* de vídeo y se efectuaban videollamadas. Los servicios de *streaming* son muy comunes tanto en las redes 3GPP como en las 3GPP2. Estos servicios se pueden seguir

disfrutando durante el *roaming* mediante conexiones IP al IMS (IP *Multimedia Subsystem*) local original. Un IMS es un conjunto de especificaciones que describen la arquitectura de las redes para soportar telefonía y servicios multimedia a través de IP. Más concretamente, IMS define un marco de trabajo y arquitectura base para tráfico de voz, datos, vídeo, servicios e imágenes conjuntamente a través de infraestructura basada en el *routing*⁷⁹ de paquetes a través de direcciones IP. Esto permite incorporar en una red todo tipo de servicios de voz, multimedia y datos en una plataforma accesible a través de cualquier medio con conexión a Internet, ya sea fija, o móvil. Sólo requiere que los equipos utilicen el protocolo de sesión SIP (*Session Initiation Protocol*) que permite la señalización de sesiones.

⁷⁹ El *routing* (a veces traducido por enrutamiento o ruteo) es la función de buscar un camino entre todos los posibles en una red de paquetes cuyas topologías poseen una gran conectividad.

CAPÍTULO 4. ESTÁNDARES TECNOLÓGICOS PARA LA TELEVISIÓN DIGITAL EN MOVILIDAD

«Quiero saber cómo un teléfono que no es un teléfono transmite una llamada. Tú parece saberlo».

Doctor Who

4.1. EL ESTÁNDAR 3G

3G (*Third Generation*) es como se denomina a la tercera generación de servicios de transmisión de voz y datos a través de redes de telefonía móvil mediante tecnología UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System* o Servicio Universal de Telecomunicaciones Móviles).

Los servicios asociados con la tercera generación de telefonía móvil proporcionan la posibilidad de transferir tanto voz como datos, así como multimedia y televisión digital en movilidad.

4.1.1. Las redes 3G

El estándar 3G tiene sus orígenes en las redes 2.5G como GPRS (*General Packet Radio Service*), EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*) y cdmaOne, que se desarrollaron a finales de los años noventa para poder proporcionar servicios limitados de transmisión de vídeo. Los operadores adaptaron sus redes de transmisión para permitir el tráfico de datos además del de voz. El Protocolo de Aplicaciones Inalámbricas (WAP) se convirtió en el estándar internacional para acceder a aplicaciones y servicios a través de terminales móviles. Sin embargo, al principio la tasa de transmisión de datos de las redes era muy limitada, y el acceso a Internet resultaba muy incómodo debido al reducido tamaño de las pantallas y a los teclados de los dispositivos móviles de la época. Pero los operadores vieron la oportunidad de negocio de sus nuevas redes en la transmisión de vídeo y la descarga de música, tal y como estaba sucediendo con Internet. La aparición de nuevos algoritmos de compresión de vídeo como MPEG-4 y su posterior estandarización a la sombra del Proyecto

Asociación de Tercera Generación (3GPP) permitieron por fin a los operadores el ofertar contenidos de vídeo. Dispositivos móviles cada vez más potentes comenzaron a incorporar aplicaciones multimedia. Al principio, la tasa máxima de transmisión de datos era aproximadamente de unos 50 kbps, lo que limitaba la transmisión de vídeo a pequeñas piezas de 30 segundos de duración que se congelaban frecuentemente. Es por esto que se desarrollaron las redes 3G con su mayor capacidad de transmisión de datos.

La verdadera era de los servicios de televisión digital en movilidad comienza con las redes 3G, creadas para satisfacer la mayor demanda de tasa de transmisión de datos por parte de los usuarios, lo que dio lugar a la creación de estándares como 1xEV-DO (*Evolution Data Optimized*) y HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*). Las nuevas redes 3G podían proporcionar tasas de transmisión de datos de hasta 1200 kbps y soportar una gran variedad de servicios de transmisión y descarga de vídeo así como aplicaciones multimedia. Las redes 3G también han permitido el desarrollo de nuevas tecnologías como MBMS (*Multimedia Broadcast Multicast Service*) capaces de proporcionar servicios de televisión digital en movilidad en modo *broadcast* a un gran número de usuarios.

Hoy en día, la transmisión de vídeo, los servicios multimedia y la televisión digital en movilidad están disponibles a través de las redes 3G; y se pueden encontrar todo tipo de contenidos desde noticias, música, información meteorológica o de deportes. Los creadores de contenidos crean versiones para plataformas móviles de sus productos más populares y ofertan sus servicios a través de los operadores de red de todo el mundo.

Las tecnologías 3G están reguladas por el IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications-2000*), el estándar global para la tercera generación de redes de comunicaciones inalámbricas definidas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), que fue formulada en los años noventa.

Ver vídeo en un dispositivo móvil es fácil. El usuario sólo necesita disponer de conexión a Internet y un navegador en el que teclear la dirección de una página web que contenga contenidos de vídeo incrustado para que estos se visualicen en la pantalla. La página web puede mostrar contenidos específicos para dispositivos móviles o contenido estándar de Internet en protocolo HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) o RTSP (*Real*

Time Streaming Protocol). En cualquier caso, lo único que hace el navegador es dirigirnos a una dirección HTTP o WAP. Los dispositivos móviles 3G pueden acceder a cualquier página web y visualizar el vídeo allí incrustado como si se tratase de un ordenador. Pero existen sutiles diferencias en el modo en cómo se transmite vídeo por Internet y cómo se transmite por redes de telefonía móvil que vienen dictadas por las características específicas de estas redes y de los propios dispositivos móviles:

- Formatos. La transmisión de contenidos de vídeo por Internet se hace en formatos como RealMedia y Windows Media Player o Flash y MP3 para el audio que, pese a ser formatos de compresión, no reúnen las características necesarias impuestas por el Proyecto Asociación de Tercera Generación (3GPP) que especifica contenidos codificados en H.263, MPEG-4 o H.264 para vídeo, y AMR-WB+ y AAC+ para audio.
- Compatibilidad entre dispositivos. Los dispositivos móviles se caracterizan por tener pantallas pequeñas y una escasa tasa de transmisión de datos, lo que obliga a adaptar los contenidos a sus características. Está, además, el problema de la compatibilidad entre los programas reproductores, que intenta regular el 3GPP.
- Canal de transmisión. La difusión de contenidos por Internet se hace mediante RTSP (*Real Time Streaming Protocol*) y RTCP (*Real Time Code Protocol*) sobre UDP (*User Datagram Protocol*). Para la transmisión de contenidos en redes móviles se emplean los mismos protocolos pero regidos por la normativa dictada por el 3GPP en un estándar conocido como 3GPP-PSS (*3GPP-Packet-switched Streaming Standard*). Las redes de transmisión móviles presentan gran variedad de tasas de transmisión de datos y requieren por parte de los servidores de la adaptación a estos flujos de datos.

4.1.2. Streaming para dispositivos móviles

A continuación se enumeran los requisitos que las redes móviles deben cumplir para poder ofrecer servicios multimedia o de transmisión de televisión digital en movilidad:

- Menú de contenidos. Los usuarios necesitan poder conocer los contenidos disponibles para su transmisión o descarga antes de solicitarlos.

- **Conexión.** Un dispositivo móvil debe de ser capaz de conectarse con un servidor de transmisión y poder reproducir los contenidos que éste le envíe. Para poder efectuar la conexión son necesarios protocolos estandarizados que permitan la comunicación entre usuarios de diferentes redes móviles. Las videollamadas están reguladas por el protocolo 3G-324M y la transmisión de vídeo por el protocolo 3GPP-PSS.
- **Compatibilidad de formatos.** Las redes móviles deben de tener estándares definidos para la codificación de vídeo según su función: videollamadas o difusión de televisión. Estos estándares emplearán algoritmos de compresión altamente eficientes como MPEG-4 o H.264 para reducir el uso del ancho de banda. La mayoría de formatos están regulados por el Proyecto Asociación de Tercera Generación (3GPP), aunque existen operadores con sus propios formatos independientes como Windows Media Player, RealMedia o Flash Video.
- **Ancho de banda.** Las redes móviles deben poder soportar una tasa de transmisión de datos amplia para poder difundir vídeo. El 3GPP sitúa la tasa mínima en 64 kbps aunque recomienda 128.
- **Compatibilidad con múltiples dispositivos.** Un difusor de contenidos por redes móviles tiene que ser capaz de llegar a múltiples tipos de dispositivos. El 3GPP intenta asentar las especificaciones generales para la transmisión de vídeo, pero existen múltiples tipos de dispositivos con capacidades muy diferentes entre sí que se salen de las normas marcadas por el 3GPP, lo que obliga a que difusores de contenido y fabricantes de dispositivos negocien las características de los dispositivos móviles para evitar problemas de compatibilidad.
- **Compatibilidad con múltiples sistemas operativos.** A pesar de que el sistema 3GPP es universal, muchos difusores de contenidos emplean formatos diferentes como Flash Lite, Windows Media Player, RealMedia o QuickTime, lo que requiere de reproductores específicos obligando a los difusores a conocer los distintos tipos de sistemas operativos de los dispositivos móviles.

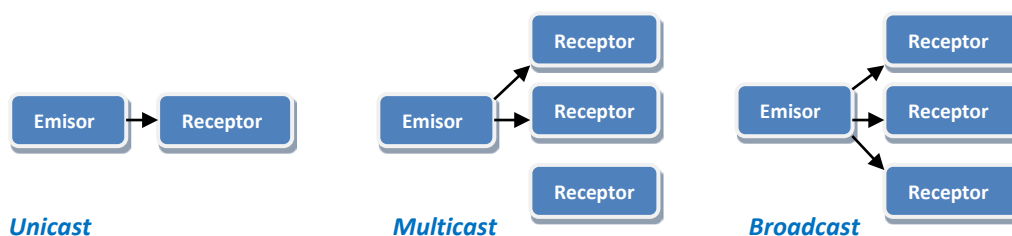
4.1.2.1. Streaming vs descarga

El *streaming* es la distribución de contenido multimedia a través de una red de ordenadores de manera que el usuario consume el producto al mismo tiempo que se descarga. La palabra *streaming* se refiere a una corriente continua (sin interrupción). Este tipo de tecnología funciona mediante un *búfer* de datos que va almacenando lo que se va descargando en la estación del usuario para luego mostrarle el material descargado. Esto se contrapone al mecanismo de descarga de archivos, que requiere que el usuario descargue por completo los archivos para poder acceder a su contenido.

4.1.2.2. Unicast y Multicast

El *streaming* puede ser *unicast* y *multicast*. *Unicast* es el envío de información desde un único emisor a un único receptor. Se contrapone a *multicast*, que es el envío a varios destinatarios específicos, y al *broadcast*, que es la difusión donde los destinatarios son todas las estaciones en la red. El método *unicast* es el que está actualmente en uso en Internet, y se aplica tanto para transmisiones en directo como bajo demanda.

Figura 54. *Unicast, multicast y broadcast.*



La desventaja del método *unicast* es que puede provocar que la red se sobrecargue en el caso de que múltiples dispositivos se conecten a la vez, provocando una degradación de la calidad del servicio. Su ventaja es que el número de posibles canales bajo demanda es ilimitado, lo que traslada el problema del ancho de banda de la red al dispositivo móvil.

El problema de pérdida de calidad en la transmisión de vídeo del método *unicast* se resuelve si se emplean tecnologías *multicast* y *broadcast* como las que utilizan los estándares DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*) y ATSC M/H (*Advanced Television Systems Committee Mobile/Handheld*), pero entonces el número de canales de emisión queda muy limitado.

4.1.2.3. 3GPP, Flash Video y RealVideo

El Proyecto Asociación de Tercera Generación, más conocido por el acrónimo inglés 3GPP (Third Generation Partnership Project), es una colaboración de grupos de asociaciones de telecomunicaciones con el objetivo inicial de asentar las especificaciones de un sistema global de redes móviles de comunicación de tercera generación (3G). La transmisión de vídeo en redes móviles viene dictada por el protocolo 3GPP-PSS (3GPP-*Packet-switched Streaming Standard*). A pesar de esta iniciativa, muchos operadores rechazan las limitaciones impuestas por 3GPP, especialmente las relativas a la codificación de la señal y al límite de resolución, ofertando contenidos en otros estándares como Flash Video, RealVideo, Windows Media, RealVideo, QuickTime y MP4.

4.1.3. Capacidad de las redes de telefonía móvil para difundir televisión digital en movilidad

La difusión de vídeo en directo requiere, como mínimo, de una tasa de transmisión de datos de 64-128 kbps que sea capaz de proporcionar una frecuencia de 15 imágenes por segundo en resolución QCIF con codificación MPEG-4, lo que era imposible de obtener antes de la creación de las redes 3G.

Tabla 38. Evolución de la tasa de transmisión de datos en los estándares de telefonía móvil.

Tecnología	GSM	GPRS	EDGE	UMTS	HSPA	HSPA+	LTE
Generación	2G	2G	2.5G	3G	3.5G	3.5G	4G
Lanzamiento aprox.	1993	2000	2006	2003	2006	2011	2014
Tasa de transmisión de datos aprox.	9,6 kbps	115 kbps	384 kbps	2 Mbps	14,4 Mbps	42 Mbps	100 Mbps

4.1.3.1. Capacidades de las redes 3G

El ancho de banda de una red 3G es de unos 5 Mbps, lo que permite dar soporte a unos 14-25 usuarios por célula suponiendo que estén haciendo un uso estándar de sus dispositivos. En el caso de que la mayoría de usuarios demanden contenidos de vídeo por el método *unicast*, el número máximo de usuarios soportados por célula puede quedar reducido a 7-18.

4.1.3.2. Capacidad de las redes HSDPA

La tecnología HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*), también denominada 3.5G, 3G+ o mini 3G, es la optimización de la tecnología espectral UMTS/WCDMA, una tecnología basada en conexiones «minis», de menor velocidad al promedio del actual 3G, incluida en las especificaciones de 3GPP, y que consiste en un nuevo canal compartido en el enlace descendente (*downlink*) que mejora significativamente la capacidad máxima de transferencia de información pudiéndose alcanzar tasas de bajada de hasta 14 Mbps.

En condiciones normales, una red HSDPA con un ancho de banda de 42 Mbps puede soportar 50 usuarios por célula proporcionando un servicio de hasta 384 kbps.

Tabla 39. Tasas de transmisión de datos y canales de vídeo según el tipo de red.

Red	Tasa de transmisión de datos máxima	Canales de vídeo a 64 kbps	Canales de vídeo a 128 kbps	Canales de vídeo a 256 kbps
GSM	9,6 kbps	No	No	No
GPRS	115 kbps	0-1	No	No
EDGE	384 kbps	10-12	3-4	2-3
cdmaOne	256 kbps	7-8	2-5	1-2
3G	2 Mbps	No usa	14-18	7-9
HSDPA	3,8 Mbps	No usa	25-30	12-15
1xEV-DO	1,9 Mbps	No usa	12-14	6-7
3xEV-DO	5,7 Mbps	No usa	36-40	18-20
HSPA+ (R7)	14,4 Mbps	No usa	125	60-80
HSPA+ (R8)	42 Mbps	No usa	No usa	200-250

4.1.4. Streaming en 3G

Las redes 3G no se emplean exclusivamente para la transmisión de datos, lo que requiere del empleo simultáneo de las técnicas *circuit-switched* y *packet-switched* para permitir al usuario recibir una llamada de voz mientras al mismo tiempo descarga datos en su dispositivo.

En este tipo de red, la conexión *packet-switched* tiene lugar mediante un protocolo PDP (*Packet Data Protocol*) en el momento en el que el usuario se encuentra en una zona

con cobertura y la conexión es continua, permitiendo servicios de *email* y multimedia. Las llamadas de voz se conectan cuando son necesarias y se desconectan al finalizar, mientras que la conexión de datos sólo emplea recursos cuando hay paquetes de datos que transmitir.

4.1.5. Streaming en 3GPP. Packet-Switched

La transmisión de televisión a través de redes móviles 3G está regulada por el Proyecto Asociación de Tercera Generación (3GPP) y más concretamente por el protocolo 3GPP-PSS (3GPP-*Packet-switched Streaming Standard*) que propone la estandarización de los siguientes aspectos:

- Definición de protocolos para los servicios de transmisión.
- Definición de los formatos de vídeo y audio empleados.
- Definición de los procedimientos para el establecimiento de llamada.
- Definición de los estándares de codificación.
- Definición de los criterios de calidad del servicio.
- Gestión de los derechos digitales del servicio.

La normativa del 3GPP ha permitido, a lo largo de sus actuales 13 versiones, la transmisión de servicios de datos en dispositivos móviles manteniendo siempre la compatibilidad con sistemas anteriores.

Básicamente, la técnica de transmisión de vídeo en redes móviles es muy parecida a la técnica empleada para la transmisión en Internet, salvo por las regulaciones impuestas por el protocolo 3GPP-PSS relativas a los formatos de codificación de los archivos de vídeo y audio, tasas de transmisión de datos, tamaños de las pantallas y calidad del servicio.

Existen múltiples formatos para la difusión de vídeo en Internet. Entre los formatos más populares figuran RealMedia, Windows Media, Flash o QuickTime. En las redes móviles, el protocolo 3GPP dicta las características de los archivos de vídeo, audio y datos Rich Media, así como el tamaño de las imágenes, el ancho de banda y la resolución, siendo las más populares QCIF y QVGA. En el caso del audio, el estándar de codificación es AMR-WB+ o AAC-LC. En el caso del vídeo es MPEG-4 o H.263.

Tabla 40. Comparativa de las características del sistema 3GPP (versiones 4, 5 y 6).

Característica	Versión 4	Versión 5	Versión 6
Códec vídeo	H.263 PO <i>Level 10</i> (Obligatorio) P3 <i>Level 10</i> (Opcional) MPEG 4 <i>Video Sample Profile Level 0</i> (Opcional)	H.263 PO <i>Level 10</i> (Obligatorio) P3 <i>Level 10</i> MPEG 4 <i>Video Sample Profile Level 0</i>	H.263 PO <i>Level 10</i> (Obligatorio) P3 <i>Level 10</i> MPEG 4 <i>Video Sample Profile Level 0</i> H.263 PO <i>Level 45</i> (Opcional) MPEG 4 <i>Video Sample Profile Level 0b</i> (Opcional) H.264 <i>Full Baseline</i> (Opcional)
Códec audio	AMR-NB & WB (Obligatorio)	AMR-NB & WB (Obligatorio) MPEG-4 AAC LC LTP (Opcional)	AMR-NB & WB (Obligatorio) AMNR-WB+ (Opcional) AAC+ (Opcional)
Formato de archivo	3GPP .3gp .amr	3GPP ISO <i>Base Format</i> (Obligatorio) <i>Timed-Text</i> (Opcional)	3GPP MMS (Opcional) DRM (Opcional)
Establecimiento de sesión	RTSP (Obligatorio)	RTSP (Obligatorio) SDP (Obligatorio) HTTP (Opcional)	RTSP (Obligatorio) SDP (Obligatorio) HTTP (Opcional) MBMS-FLUTE (Obligatorio)
Transporte de datos	RTP/RTCP (Obligatorio)	RTP/RTCP (Obligatorio) Descarga progresiva (Opcional)	RTP/RTCP (Obligatorio) Descarga progresiva (Opcional) MBMS (/Obligatorio) DRM (Opcional) RTSP (Opcional)

El procedimiento de establecimiento de un protocolo de transmisión de datos de audio o vídeo en tiempo real (RTSP) entre un dispositivo móvil y un servidor de contenidos es muy simple. Lo primero que ocurre es que el cliente localiza un archivo de vídeo mediante el buscador web de su dispositivo móvil y activa una URL/RTSP o conexión web, lo que desencadena la siguiente cadena de acontecimientos:

- El reproductor de vídeo se conecta con el servidor y le envía una orden tipo RTSP *describe*.
- El servidor responde con un mensaje SDP (*Session Description Protocol*) que indica los tipos de archivo de vídeo disponibles, el número de transmisiones y el ancho de banda requerido.
- El reproductor de vídeo analiza las descripciones de los archivos de vídeo disponibles y envía una orden tipo RTSP *setup* para cada transmisión

necesaria.

- Una vez se ha establecido el flujo de datos, el reproductor envía una orden *play* que hace que el servidor comience a enviar los paquetes de datos RTP (*Real-time Transport Protocol*) al cliente empleando el protocolo UDP (*User Datagram Protocol*).
- Además, la conexión puede ser interrumpida por el cliente a voluntad mediante el empleo de una orden *teardown*.

Una vez comenzada la transmisión mediante el protocolo RTP, la sesión RTSP se mantiene activa y sirve para que haya *feedback* entre el dispositivo móvil y el servidor. En la versión 4 del protocolo 3GPP-PSS, el *feedback* tenía lugar cada cinco segundos y el ancho de banda para el RTCP estaba restringido al cinco por ciento del total del ancho de banda para conexiones de 64 kbps. Versiones posteriores del protocolo han ido incorporando mecanismos de *feedback* cada vez más eficientes hasta llegar a incluir características como:

- *Fast Channel Switching* (FCS) o cambio rápido de canal, que reduce el tiempo de establecimiento de señal entre emisor y receptor para proporcionar un servicio más rápido al usuario.
- *3GPP Rate Adaptation* o adaptación de velocidad 3G, que permite la adaptación rápida a la capacidad de transmisión del canal eliminando en gran parte las interrupciones de *buffering*.
- *Firewall Transversal*, que permite ignorar las restricciones de algunos *firewall*⁸⁰ a distintos tipos de transmisión de datos.
- *Keep Alive*, que impide que la conexión se pierda en una red inalámbrica debido a problemas de transmisión, incluso con interrupciones de transmisión superiores a un minuto de duración.

Las redes móviles son un medio de transmisión de vídeo altamente variable debido fundamentalmente a las cambiantes condiciones de la conexión en el lado del receptor, así como por la posible sobrecarga en el canal por la demanda de múltiples servicios. Es

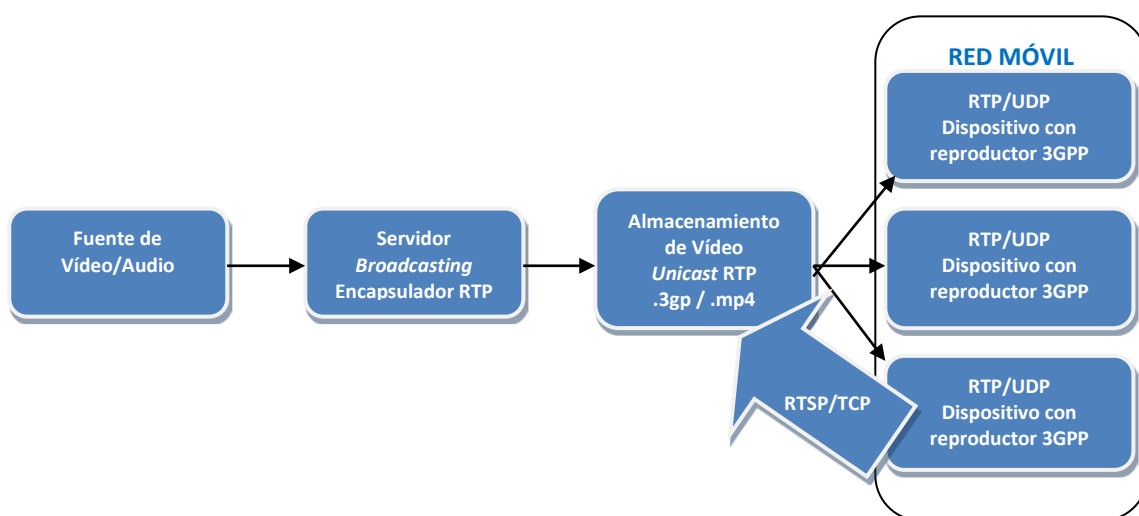
⁸⁰ Un cortafuegos (*firewall*) es una parte de un sistema o una red que está diseñado para bloquear el acceso no autorizado permitiendo al mismo tiempo comunicaciones autorizadas. Se trata de un dispositivo o conjunto de dispositivos configurados para permitir, limitar, cifrar y descifrar el tráfico entre los diferentes ámbitos sobre la base de un conjunto de normas y otros criterios.

por eso que el flujo de datos y la calidad de reproducción del vídeo pueden variar significativamente durante una sesión. Cada día cobra más importancia el concepto de Calidad del Servicio (QoS o *Quality of Service*) en el campo de las aplicaciones para televisión en movilidad, que pone límites a la degradación de la señal de vídeo debido a problemas con la red. Por su parte, la señal de audio suele requerir un menor ancho de banda y casi siempre se mantiene estable.

4.1.6. Difusión a redes 3GPP

Un sistema de radiodifusión de vídeo en una red 3GPP requiere de dos servidores: uno para encapsular el vídeo, el audio y la dirección IP en paquetes de datos IP/UDP/RTP; y otro servidor de flujo para proveer múltiples transmisiones RTP *unicast* a varios dispositivos móviles.

Figura 55. Esquema de una red de radiodifusión 3GPP.



El usuario desea acceder a contenidos audiovisuales y utiliza su buscador web para seleccionarlos. Es entonces cuando da comienzo la sesión vía RTSP (*Real Time Streaming Protocol*) y paquetes IP que emplean RTP (*Real-time Transport Protocol*) sobre UDP (*User Datagram Protocol*). La resolución del vídeo transmitido está limitada por la normativa que dicta el protocolo 3GPP a un máximo de 15-30 cuadros por segundo con 128 kbps de tasa de transmisión de datos en QCIF. Finalmente, el audio y el vídeo son descodificados en el dispositivo receptor mediante un reproductor

que siga la normativa 3GPP.

4.1.7. Plataformas de streaming

Existen varias plataformas para la difusión de vídeo en *streaming* que operan de acuerdo a la normativa del 3GPP.

4.1.7.1. QuickTime

La plataforma QuickTime de Apple soporta los formatos MPEG-4, H.264, AAC, AMR-WB, MP3 y 3GPP. Puede transmitir en *unicast* y *multicast* a redes 3GPP, tanto en *streaming* como en descarga bajo demanda, empleando los protocolos estándar RTP/RTSP.

4.1.7.2. Model 4Caster

Model 4Caster fue diseñado para la radiodifusión de televisión en redes móviles con varios tipos de soporte. El sistema acepta la entrada de datos en casi cualquier formato y es capaz de emitir simultáneamente en 2.5G, 3G, 3.5G, DVB-H, DMB, ISDB-T, Wi-Fi y WiMAX. Cumple la normativa de los estándares 3GPP y 3GPP2. Su sistema de codificación permite ofrecer flujos de radiodifusión de vídeo en múltiples tasas de transmisión de datos, lo que permite su ajuste en tiempo real dependiendo de las condiciones de la red.

4.1.7.3. Vidiator Xenon

La plataforma Xenon de Vidiator permite la radiodifusión de televisión en movilidad a la mayoría de dispositivos móviles en el mercado. Tiene capacidad de transmitir en *multicast* a múltiples servidores de difusión y permite el cambio rápido de canal y la adaptación de velocidad de transmisión según el estado de la red. Soporta los siguientes *códecs*: MPEG-4, H.263, AAC, AMR, H.264, AMR-WB y AAC+.

4.1.8. Implementación de servicios de vídeo en redes 3G

La creación de un sistema de radiodifusión de vídeo en red 3GPP requiere de los siguientes pasos:

- Establecer un sitio web con contenido audiovisual accesible para el usuario e información SDP (*Session Description Protocol*).
- Establecer un servidor de transmisión que soporte contenido H.263, H.264 y

AAC.

- Aceptar la solicitud RTSP a conectar y hacerlo mediante el protocolo RTP/UTP.

4.1.8.1. Tasa de transmisión de datos

La transmisión de vídeo en movilidad requiere de 20 a 384 kbps por flujo *unicast* dependiendo del formato de codificación, de la resolución de la pantalla y de la tasa de transmisión de *frames* seleccionada. Por ejemplo, un servidor de transmisión Mac de QuickTime puede proporcionar los siguientes servicios de transmisión simultáneamente:

En directo:

- 10 000 canales de AAC audio a 20 kbps.
- 2500 canales de MPEG-4 vídeo & AAC audio a 64 kbps.
- 1500 canales de MPEG-4 vídeo & AAC audio a 300 kbps.

Bajo demanda:

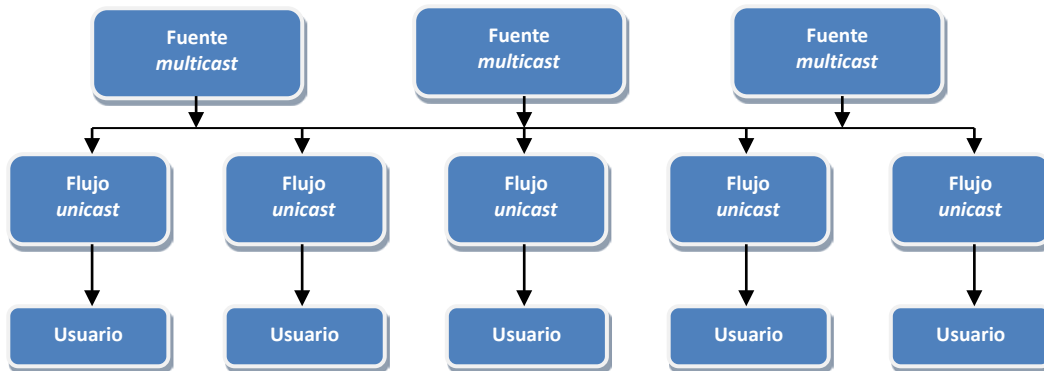
- 8000 canales de AAC audio a 20 kbps.
- 2000 canales de MPEG-4 vídeo & AAC audio a 64 kbps.
- 1000 canales de MPEG-4 vídeo & AAC audio a 300 kbps.

Estas especificaciones suponen un rendimiento aproximado de 300 Mbps sobre una interfaz Ethernet⁸¹ de 1 Gbit. Sin embargo, esta capacidad no es suficiente para la mayoría de servidores, que están diseñados para cubrir grandes áreas de terreno con múltiples canales. Tampoco se puede multiplicar el número de servidores, ya que eso daría lugar a un número de conexiones imposible de gestionar. Pero existen dos técnicas para solucionar el problema:

- Una sería la transmisión en *multicast* a los *routers* de la red y que estos transmitan en *unicast* sólo al final de la cadena hacia el usuario. Esta técnica mixta *multicast/unicast* permite mantener un número de conexiones manejable mientras se proporciona servicio a miles de usuarios.

⁸¹ Ethernet es un estándar de redes de área local para computadores con Acceso al Medio por Detección de la Onda Portadora y con Detección de Colisiones (CSMA/CD). Ethernet define las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de tramas de datos del nivel de enlace de datos del modelo OSI (*Open System Interconnection*). Ethernet se tomó como base para la redacción del estándar internacional IEEE 802.3, siendo usualmente tomados como sinónimos.

- La otra sería emplear una red de entrega de contenidos en donde los contenidos sean almacenados en los servidores del final de la red y se transmitan desde allí y no desde un servidor central. Existen multitud de proveedores de servicios de entrega de contenidos, ya que los generadores de contenidos y los operadores de red prefieren subcontratar esos servicios.

Figura 56. Esquema de una red *multicast-unicast*.

4.1.8.2. Fast Channel Switching

Uno de los parámetros técnicos que más afecta a la percepción de calidad de los servicios de televisión en movilidad es la capacidad de cambiar rápido de canal. El sistema 3GPP, hasta su versión 6, sólo permitía el cambio de canal si se visitaba la página web en la que estaba colgado el contenido y se solicitaba un nuevo vídeo. Este proceso implicaba el dejar de ver el vídeo del canal presente, hacer una solicitud HTTP y esperar a que el nuevo canal se cargase, lo que resultaba un proceso muy frustrante. Desde el año 2009, el sistema 3GPP tiene estandarizado el cambio rápido de canal o *Fast Channel Switching* (FCS).

En el cambio rápido de canal, la lista de canales es transmitida al dispositivo al principio de la conexión. Cuando el usuario selecciona un nuevo canal, se envía una solicitud HTTP y automáticamente el servidor cambia de canal. Este sistema no sólo permite el cambio rápido de canal, sino que además evita el tener que contactar con la página web para seleccionar el nuevo canal permitiendo que el flujo de transmisión de vídeo se mantenga constante.

El sistema de cambio rápido de canal está presente en casi todos los sistemas de

televisión digital en movilidad actuales.

4.1.8.3. Streaming RealVideo

La transmisión de contenido en formato 3GPP es posible en todos los dispositivos 3G. También es posible la transmisión de imágenes en formato RealVideo siempre que se cuente con un servidor Helix y el dispositivo tenga descargado RealPlayer y soporte el formato, como los sistemas Symbian de Nokia y Palm Os, entre otros. Los dispositivos con RealPlayer también soportan contenido 3GPP.

4.1.8.4. Streaming Windows Media

La transmisión de Windows Media se puede conseguir mediante el empleo de un servidor de Windows Media para dispositivos móviles que, al contrario que con el contenido 3GPP, sólo funcionará con dispositivos que soporten el formato. El sistema Windows Media permite transmitir televisión en directo y archivos de vídeo. Son muchos los proveedores de contenido que favorecen el formato Windows.

Windows Media es uno de los formatos soportados por MobiTV, Flash Video, MPEG-4 y 3GPP.

4.1.8.5. Descarga de Flash Video Lite

Los contenidos en formato Flash Video Lite han ganado mucha popularidad debido a la proliferación de webs como Youtube y otras webs de distribución de vídeo. Flash Video Lite se transmite mediante una tecnología llamada *Progressive Download*, y requiere de un servidor Flash Media que proporcione el servicio.

Flash Video Lite se puede ver en casi cualquier dispositivo móvil siempre que cuente con la aplicación Flash Lite Player en su navegador, y por eso es uno de los formatos más extendidos.

4.1.8.6. Streaming DivX

DivX es uno de los formatos de vídeo doméstico más populares, especialmente para archivos de vídeo pequeños. Su popularidad ha aumentado mucho, sobre todo gracias a las nuevas tarjetas de memoria de 8, 32 y 64 GB. DivX es una aplicación descargable que funciona en la mayoría de dispositivos móviles.

4.1.8.7. MobiTV

Un ejemplo de servicio de televisión digital en movilidad que combina contenido en múltiples formatos y funciona en varias redes de difusión es MobiTV. Este servicio es accesible en la mayoría de países del continente americano y proporciona 40 canales de televisión en directo así como contenido bajo demanda. El sistema MobiTV puede trabajar en redes 3G, Wi-Fi y WiMAX, además de en redes de difusión terrestre.

4.1.8.8. Redes de difusión de contenidos o Content Delivery Networks

Aunque sería relativamente fácil para cualquier proveedor de contenidos el montar su propio servidor 3GPP para transmitir su señal, hay varios factores que se deben considerar.

- La gestión de múltiples dispositivos móviles.
- El control de carga de datos para la difusión *unicast*.
- La facturación por la señal enviada.

Por estos motivos, resulta más práctico el emplear los servicios proporcionados por operadores de señal a gran escala para la difusión de contenidos, ya que proporcionan todos los servicios necesarios, desde la descarga de contenido, su ingesta, la codificación a 3GPP o cualquier otro formato (Flash, Real, Windows Media, QuickTime, DivX), el almacenamiento en servidores, la inserción de publicidad, así como la radiodifusión a distintos tipos de redes y dispositivos.

4.1.9. Multimedia Broadcast Multicast Service MBMS

Las limitaciones potenciales de las redes 3G para la difusión intensiva de televisión en movilidad en *unicast* han llevado a considerar la difusión *multicast* como la mejor alternativa tecnológica para la difusión de canales de televisión en directo. En una red *multicast*, cada canal de contenido tiene asignado un canal de transporte para un área de difusión determinada, sin importar el número de usuarios que allí se hallen.

En un servicio MBMS (*Multimedia Broadcast Multicast Service*), todos los *routers* necesitan repetir la transmisión *multicast* para cada área determinada. Se estima que un canal *multicast* a 64 kbps requiere aproximadamente el cinco por ciento de la potencia de la portadora; y un canal de 128 kbps el diez por ciento. Esto implica que se pueden

emplear 10x128 o 20x64 canales *multicast* por señal portadora para una determinada área geográfica, variando según el relieve del terreno y el tipo de receptores. MBMS es una técnica de difusión que, al contrario que otras como DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*), emplea el ya existente espectro de difusión 3G para asignar recursos a cada uno de los canales *multicast* de transporte existentes para cada área determinada.

Las distintas áreas geográficas de difusión pueden alternar entre canales *multicast* y *unicast* dependiendo del volumen de tráfico de datos. MBMS es esencialmente un sistema de difusión controlado por *software* que permite el dedicar canales de transporte de señal a la difusión de televisión, especialmente aquellos canales con gran número de espectadores.

Como su nombre sugiere, MBMS (*Multimedia Broadcast Multicast Service*) funciona de dos maneras diferentes: el modo *broadcast* llega a todos los usuarios sin diferenciación, y el modo *multicast* sólo está disponible para los usuarios de un área concreta, generalmente previo pago de una suscripción.

Pasos para utilizar un servicio MBMS:

- El operador anunciará la existencia del servicio, ya sea en modo *broadcast*, o a posibles suscriptores *multicast*. Los usuarios *multicast* se apuntan al servicio, los *broadcast* lo reciben siempre.
- Comienza la sesión y se reservan los recursos de radiodifusión de la red para la transmisión MBMS.
- Se envía una señal con los distintos tipos de servicio disponibles.
- Comienza la transmisión de datos que es recibida por todos los usuarios. En el modo *broadcast* los datos están sin encriptar, y en el modo *multicast* están encriptados para que sólo los usuarios de pago puedan disfrutarlos. En el modo *multicast* los usuarios pueden abandonar la sesión cuando quieran.

MBMS soporta transmisión en *streaming* y la descarga de archivos, tanto en *broadcast* como en *multicast*. El sistema de compresión de vídeo que emplea es H.264.

La implementación del servicio MBMS también se enfrenta a varios obstáculos:

- Estándares poco sólidos. Hasta el lanzamiento de la versión 6 de 3GPP no se han definido las características completas del servicio.
- La necesidad de actualizar algunos equipos para que sean compatibles con MBMS.
- El desconocimiento de cuantos dispositivos móviles con capacidad MBMS hay en un determinado mercado.
- El sistema MBMS es unidireccional, lo que no satisface a los proveedores que ya están empleando su ancho de banda 3G para la transmisión de voz y datos.

4.1.10. Servicios basados en redes CDMA

Los servicios basados en redes CDMA (*Code Division Multiple Access*) como CDMA2000 y 1xEV-DO están dentro del marco regulatorio del 3GPP2 (*Third Generation Partnership Project 2*). A pesar de que no hay diferencias en cómo se difunde el vídeo a los dispositivos móviles, sí que las hay en lo relativo a los estándares de codificación del audio y el vídeo.

Las especificaciones técnicas de 3GPP2 fueron definidas por primera vez por la red CDMA2000 con las siguientes características:

- Vídeo: H.263 y MPEG-4.
- Audio: AAC, AMR y AMR-WB.
- Formato de archivo: Contenedor ISO.

La mayoría de codificadores y difusores de señal del mercado pueden trabajar con 3GPP y 3GPP2.

1xEV-DO no facilita la compatibilidad con CDMA2000, pero hay muchos dispositivos en el mercado que sí lo hacen como los nuevos *smartphones*, PDAs y Blackberrys, que a su vez funcionan en redes GSM (*Global System for Mobile communications*) y GPRS (*General Packet Radio Service*), lo que les permite, por ejemplo, recibir llamadas en CDMA2000 mientras están descargando datos en 1xEV-DO.

Las redes CDMA pueden alcanzar prestaciones de 3,072 Mbps de bajada y 451 kbps de subida.

4.1.11. Otros servicios multimedia de las redes 3G

La utilidad de las redes 3G no termina con la difusión de audio y vídeo. Existen otros servicios como la videollamada, los MMS (*Multimedia Messaging Service*), servicios de localización, redes sociales, *podcasting* y videojuegos, entre otros.

A continuación, se exponen las clases de tráfico de datos que proporciona una red 3G y cómo estas características se pueden aplicar a estos nuevos servicios.

4.1.11.1. UMTS y Calidad de Servicio (QoS)

Los servicios de red están considerados como sistemas de comunicación de extremo a extremo, es decir, desde un equipo terminal a otro. Un servicio de extremo a extremo debe de tener una cierta calidad de servicio (QoS), que es proporcionada por la red dependiendo del tipo de servicio.

Las redes UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) tienen las siguientes clases de tráfico de datos que se distinguen principalmente por cómo de sensibles son a los retrasos que pueda experimentar la red.

- Clase de conversación.
- Clase de *streaming*.
- Clase interactiva.
- Clase de fondo.

Tabla 41. Clases de Calidad de Servicio (QoS) en redes UMTS.

Clase de tráfico	Clase de conversación	Clase de <i>streaming</i>	Clase interactiva	Clase de fondo
Características	Tiempo real Conversaciones sin retrasos	Tiempo real	Respuesta a peticiones Contenido de pago protegido	El destinatario no está esperando los datos Contenido de pago protegido
Función	Voz	Vídeo en <i>streaming</i>	Navegación web	<i>Emails</i> , SMSs y MMSs.

4.1.12. Televisión digital en movilidad por Wi-Fi

La proliferación de los *smartphones* y los ordenadores portátiles ha contribuido a que cada vez existan más tecnologías de red de área local (LAN o *Local Area Network*) inalámbricas, y de entre todas ellas destaca el estándar 802.11 o Wi-Fi. Las redes Wi-Fi se pueden encontrar en cualquier lugar, tanto en su versión pública abierta como privada y cerrada, y han permitido que la difusión de televisión digital en movilidad vía Internet sea mucho más barata al evitar las tarifas que cargan otras redes.

4.1.13. Implementación del estándar 3G

Los proyectos de investigación y desarrollo de las redes 3G (UMTS y CDMA2000) comenzaron en el año 1992. En 1999, la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) aprobó cinco interfaces radioeléctricas para las tecnologías IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications-2000*) como parte de la Recomendación UIT-R M.1457; la tecnología WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) fue añadida en 2007. Por un lado estaban los estándares anteriores (EDGE y CDMA), que eran compatibles con las versiones existentes de redes 2G. También había estándares nuevos que necesitaban de nuevas asignaciones de *hardware* y frecuencias de red. El último grupo era la familia UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), que consistía en las normas elaboradas para las IMT-2000. Los teléfonos móviles actuales emplean tecnología UMTS en combinación con las normas y los anchos de banda de las tecnologías 2G como GSM. WiMAX fue incluido más tarde en la definición de las IMT-2000.

Tabla 42. Los estándares 3G.

Estándares UIT IMT-2000	Nombre común		Ancho de banda	Actualización a 4G	Dúplex	Descripción	Áreas
TDMA-SC (Single Carrier)	EDGE		EDGE Evolution	No	FDD	Es una evolución de GSM y GPRS	Mundial menos Japón y Corea del Sur
CDMA-MC (Multi Carrier)	CDMA2000		EV-DO	UMB		Es una evolución de cdmaOne	América y Asia
CDMA-DS (Direct Spread)	UMTS	WCDMA	HSPA	LTE		Evolución de GSM	Mundial
		TD- CDMA					Europa
CDMA-TDD		TD- SCDMA					
FDMA / TDMA-FT	DECT		No		TDD	Estándar para telefonía inalámbrica	Europa, EEUU y Canadá
IP-OFDMA	IP-OFDMA		WiMAX (IEEE 802.6)			Estándar para telefonía inalámbrica	Mundial excepto China

La tecnología 3G es el resultado del trabajo de investigación y desarrollo llevado a cabo por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) a principios de 1980. Las especificaciones y estándares 3G se desarrollaron en los siguientes quince años y se pusieron a disposición del público bajo el nombre de IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications-2000*). El espectro radioeléctrico entre los 400 MHz y los 3 GHz fue asignado para la tecnología 3G. La primera red 3G precomercial fue lanzada por NTT DoCoMo en Japón en 1998 con el nombre de FOMA (*Freedom of Mobile Multimedia Access*). En mayo de 2001, comenzó la fase de pruebas empleando la tecnología WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*). El primer lanzamiento comercial de una red 3G, también por parte de NTT DoCoMo, fue en Japón el 1 de octubre de 2001.

La primera red 3G precomercial europea empleó tecnología UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) y fue instalada en la Isla de Man de la Corona Británica por la empresa Manx Telecom, propiedad entonces de British Telecom. La primera red comercial (también UMTS basada en WCDMA) de Europa fue lanzada por la empresa noruega Telenor en diciembre de 2001, aunque sin dispositivos móviles ni clientes de pago.

La primera red 3G comercial de Corea del Sur fue lanzada por SK Telecom en enero de

2002. Empleaba tecnología 1xEV-DO basada en CDMA (*Code Division Multiple Access*). En mayo de 2002, la empresa KT instaló la segunda red 3G de Corea del Sur, también basada en EV-DO, lo que convierte a Corea del Sur en el primer país del mundo en tener competencia entre operadoras 3G.

La primera red 3G comercial de los Estados Unidos fue instalada por Monet Mobile Networks y estaba basada en la tecnología EV-DO CDMA2000 1x, pero enseguida cesó sus operaciones. El segundo operador de red 3G en los Estados Unidos fue Verizon Wireless, comenzando en julio de 2002 y basándose también en tecnología CDMA2000 1xEV-DO. AT&T Mobility también posee en la actualidad una red 3G basada en tecnología UMTS.

La primera red 3G de demostración precomercial en el hemisferio sur fue instalada en Adelaide (Australia) por m.Net Corporation en febrero de 2002, y empleaba tecnología UMTS. Esta era una red de exhibición para el IT World Congress de 2002. La primera red 3G comercial fue lanzada, también en Australia, por Hutchison Telecoms en junio de 2003.

En diciembre de 2007, según la Global mobile Suppliers Association (GSA), 190 redes 3G estaban operando en 40 países distintos y 154 redes HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) lo hacían a su vez en 71 países diferentes. El despliegue de las redes 3G se retrasó en muchos sitios por los enormes costes de los derechos de licencia del espectro radioeléctrico.

El estándar 3G es, probablemente, el más conocido del mundo debido a la expansión masiva del mercado de las comunicaciones móviles post-2G. También ha debido influir notablemente en la popularidad del 3G el desarrollo de los *smartphones* como el iPhone, o los teléfonos basados en el sistema operativo Android, que combinan las capacidades de una PDA con un teléfono móvil, lo que conlleva una amplia demanda de conectividad móvil a Internet. El 3G también ha introducido el término "banda ancha móvil", ya que su velocidad y capacidad lo convierten en una alternativa viable para la navegación por Internet, y ha permitido el desarrollo del mercado de los módems USB que permiten la conexión a redes 3G.

Según estimaciones de la UIT, en 2012 había 2096 millones de suscriptores de banda

ancha móvil activos en todo el mundo de un total de 6835 millones de suscriptores, lo que supone aproximadamente el 30%. La mitad de las suscripciones de banda ancha móvil están en los países desarrollados. Según la Global mobile Suppliers Association, a mediados de 2015 todas las operadoras de señal WCDMA han lanzado servicios HSPA, hasta hacer un total de 586 redes distintas en 216 países diferentes. El número total de suscriptores a servicios regulados por el 3GPP (GSM, EDGE, WCDMA, HSPA, HSPA+ y LTE) a mediados de 2015 era de 6538 millones de un total de 7166 millones, lo que representa más del 90% del mercado.

Tanto el proyecto 3GPP como el 3GPP2 están trabajando en ampliaciones de la norma 3G basadas en una infraestructura de red todo IP, y en el uso de tecnologías inalámbricas avanzadas tales como MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*), que se acercan a las características del sistema IMT-Advanced (4G), el sucesor de la tecnología 3G. Sin embargo, como estas tecnologías están por debajo de los requisitos de ancho de banda para 4G, que son de 1 Gbps para dispositivos fijos y 100 Mbps para dispositivos móviles, estas normativas se clasifican como 3.9G o pre-4G. 3GPP tiene previsto cumplir con las metas 4G gracias a la tecnología LTE Advanced. Mientras tanto, el gigante de las telecomunicaciones estadounidense Qualcomm ha frenado el desarrollo de las tecnologías UMB (*Ultra Mobile Broadband*) en favor de la familia LTE (3G Long Term Evolution).

El 14 de diciembre de 2009, la empresa Telia Sonera anunció en un comunicado de prensa que era el primer operador del mundo en ofrecer a sus clientes en Estocolmo (Suecia) y Oslo (Noruega) servicios de 4G.

4.1.13.1. España

En España, la adjudicación de licencias UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) se produjo el 13 de marzo de 2000, recibiendo licencias de forma automática las tres operadoras existentes (Telefónica, Airtel y Amena) y otorgándose una nueva a la operadora entonces denominada Xfera (actualmente Yoigo).

Según el *Informe Anual 2012 de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia*, en 2012 un total de 24,9 millones de líneas accedieron a Internet a través de las redes móviles. La mayoría de conexiones de banda ancha móvil, un 89,9%, se

realizaron con terminales de voz. A través de estos terminales se conectaron 22,4 millones de usuarios, mientras que 2,5 millones lo hicieron desde dispositivos exclusivos de datos, principalmente *datacards* y tabletas.

4.2. LOS ESTÁNDARES DMB Y CMMB

DMB (*Digital Multimedia Broadcasting*) es una tecnología de transmisión digital de audio, video y datos para sistemas de comunicaciones móviles y portátiles. Existen dos modalidades de DMB: la que opera por vía terrestre (T-DMB) y la que opera vía satélite (S-DMB).

CMMB (*China Mobile Multimedia Broadcasting*) es un estándar de televisión digital en movilidad y multimedia móvil desarrollado en China por la SARFT (State Administration of Radio, Film, and Television). El sistema está basado en la tecnología STiMi (*Satellite and Terrestrial Interactive Multiservice Infrastructure*) desarrollado por la compañía TiMiTech, una empresa creada por la Chinese Academy of Broadcasting Science.

4.2.1. El sistema DMB

Una nueva era para la televisión comenzó en octubre de 2004 cuando el primer servicio de televisión digital en movilidad inició su andadura en Japón gracias a la tecnología por satélite S-DMB (*Satellite-Digital Multimedia Broadcasting*). Pronto le siguieron los servicios de televisión digital en movilidad por vía terrestre que comenzaron en Corea del Sur en diciembre de 2005 gracias a la tecnología T-DMB (*Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting*). La tecnología DMB es la culminación de años de trabajo, desarrollo de protocolos, interfaces y procesadores para permitir la radiodifusión de contenidos multimedia a dispositivos en movilidad. Antes de esto, la única televisión digital en movilidad existente era la que proporcionaban las redes 3G con todas sus limitaciones. El sistema T-DMB es anterior al sistema DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*). DMB (*Digital Multimedia Broadcast*), como sugiere su nombre, proporciona servicios de radiodifusión de contenidos multimedia a dispositivos móviles que incluyen audio, vídeo, datos y mensajes. Estos servicios, al contrario que los servicios 3G, son transmitidos en *broadcast*, por lo que pueden llegar a un número ilimitado de usuarios. El sistema DMB tiene su origen en Corea del Sur y transmite por

vía satélite y terrestre. Se creó por mandato expreso del gobierno de Corea del Sur, que encargó al ETRI (Electronics and Telecommunications Research Institute) que desarrollara un sistema para la transmisión de televisión digital a dispositivos móviles. Los estándares T-DMB y S-DMB están aprobados por la ETSI (European Telecommunications Standards Institute), lo que permite su explotación a nivel internacional. A finales de 2009, el sistema T-DMB contaba con más de 20 millones de usuarios en Corea del Sur, lo que le convierte en uno de los estándares para televisión digital en movilidad más utilizados del mundo.

El sistema DMB se basa en el anterior sistema DAB (*Digital Audio Broadcasting*) que ya era un estándar mundial para la radiodifusión de audio. El sistema DMB emplea el mismo dispositivo tecnológico que DAB para enviar vídeo codificado en MPEG-2. El sistema DAB se diseñó para transmitir sonido de alta calidad a dispositivos móviles. DAB emplea una codificación MPEG-1 *Layer 2* MUSICAM que proporciona una tasa de transmisión de datos de 384 kbps para la difusión de audio. Fueron la robustez del sistema DAB y la disposición de espectro radioeléctrico las razones principales para decidir modificarlo y convertirlo en un estándar para la difusión de vídeo.

El sistema DMB se ha intentado implementar en muchos países.

4.2.1.1. El sistema DAB

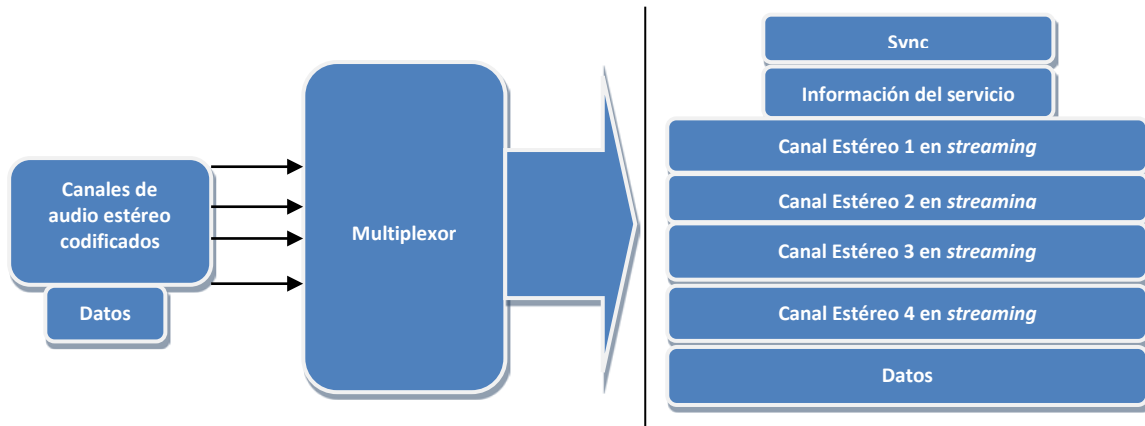
El estándar DAB (*Digital Audio Broadcasting*) tiene sus orígenes en el año 1987 con la creación del proyecto Eureka 147. DAB se convirtió en estándar europeo en 1993 y fue aprobado por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) en 1994. DAB emplea la banda UHF, la VHF, la banda L y la banda S para difundir su señal. DAB transmite flujos de datos y audio *multiplexados* codificados en OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplex*) y ocupa 1,55 MHz transportando 1,5 Mbps de datos. Un canal ordinario de 6MHz de ancho de banda es capaz de albergar tres canales DAB; y una tasa de transmisión de datos de 1,5 Mbps es capaz de albergar cinco canales de audio de alta calidad de 256 kbps cada uno. El sistema emplea una codificación MPEG-1 *Layer 2* MUSICAM. Con el tiempo, DAB se ha convertido en un estándar muy popular debido a la robustez que proporciona la codificación OFDM para trabajar en SFNs (*Single Frequency Network*) y, hoy en día, los servicios DAB se pueden recibir en

multitud de terminales móviles.

Con la llegada de *códecs* de audio más avanzados como AAC+, DAB se ha adaptado incluyéndolos y pasando a denominarse DAB+. La codificación MUSICAM tiene tendencia a desaparecer en el futuro.

El sistema DAB consiste en un canal *múltiplex* con una tasa de transmisión de datos constante que transporta audio. El canal es generado por un multiplexor que proporciona los servicios de audio, asigna las tasas de transmisión de datos y añade la información de sincronización. También puede transportar datos empleando la técnica de *packet-switching*.

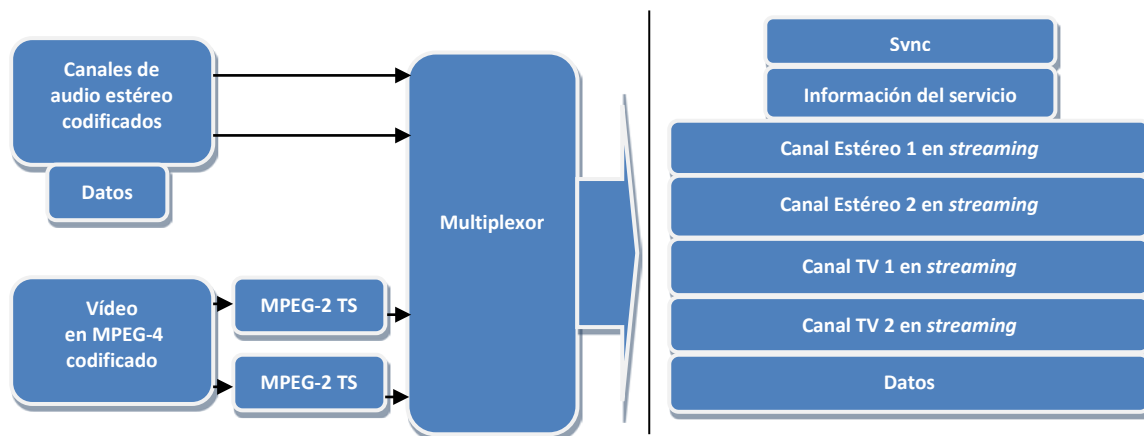
Figura 57. Esquema del *multiplexado* de canales en el sistema DAB.



En el sistema DAB se asigna un ancho de banda muy grande (de 256 kbps) a los canales de audio en estéreo. Este gran ancho de banda disponible fue el que dio lugar a la idea de reemplazar los canales de audio por multimedia con codificadores más eficientes como MPEG-4 y H.264 para vídeo, y AAC-HE y AAC+ para audio, modificando así el estándar DAB para convertirlo en el estándar DMB (*Digital Multimedia Broadcast*). Para corregir los errores propios de los sistemas de transmisión de vídeo en movilidad, se añadió otra capa con un sistema de codificación y entrelazado convolucional. El canal DAB no transporta la información de programas necesaria para identificar los flujos de información de vídeo, audio y datos (como los subtítulos) asociados a un determinado programa. Esto se resolvió manteniendo la estructura del código MPEG-2 para canalizar los programas en el multiplexor. Así fue como DAB evolucionó a DMB, que transporta múltiples canales en MPEG-2 que a su vez contienen múltiples

programas codificados en MPEG-4 y otros protocolos.

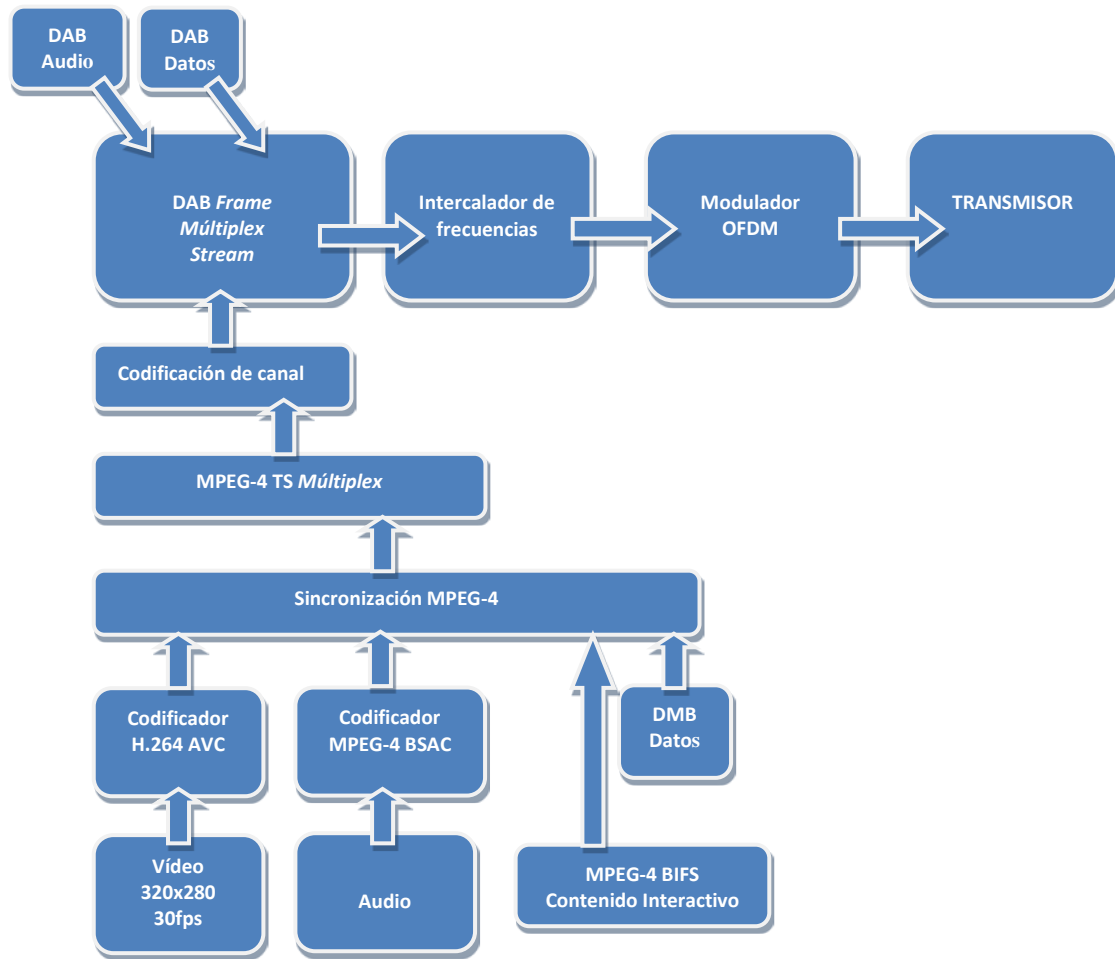
Figura 58. Esquema de la evolución del servicio DMB basado en DAB.



El empleo de MPEG-2 en la transmisión también implica la necesidad de mínimas adaptaciones en el sistema de radiodifusión.

El sistema DMB es considerablemente distinto del sistema DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*), que está basado en el protocolo IPDC (*Internet Protocol Datacast*) de transmisión de datos para enviar audio, vídeo y datos codificados. DMB, en cambio, emplea flujos de datos generados por codificadores que se *multiplexan* conjuntamente en un único canal *múltiplex*. DVB-H depende de la capacidad de transmisión de la capa IP *Datacast*, incluye sistema RTP (*Real-time Transport Protocol*), sistema de transferencia de archivos FLUTE (*File Delivery over Unidirectional Transport*) y lenguaje HTML/XML, entre otras tecnologías. Por su parte, DMB no depende la capa IP para su difusión sino que confía en el soporte MPEG-2 que empleaba el estándar DAB. DMB tampoco emplea tecnología *time-slicing* para ahorrar energía y confía en el flujo de transmisión MPEG-2 para la sincronización.

Figura 59. Esquema del sistema DMB.



El sistema DAB se organiza en cuatro modos de transmisión que se basan en el número de *frames* por segundo de las imágenes y en la cantidad de portadoras. DMB es muy parecido a DAB con el añadido de que los canales DMB cuentan con servicio de protección de errores.

Tabla 43. Modos de transmisión en DAB.

Parámetros DAB	Modos de transmisión			
	I	II	III	IV
Duración del <i>frame</i> (ms)	96	24	24	48
Número de portadoras	1536	384	192	768
Frecuencia	VHF	Banda L (1500 MHz)	Banda S (3000 MHz)	Banda L (1500 MHz)
Alcance	96 km	24 km	12 km	48 km

4.2.2. Servicios DMB por satélite y terrestres

Los servicios que proporciona el estándar DMB (*Digital Multimedia Broadcasting*) son accesibles vía transmisión terrestre (T-DMB) o por satélite (S-DMB).

La radiodifusión de servicios multimedia en Japón y Corea del Sur se realiza mediante el satélite MBSAT que opera en la banda S (2630-2655 MHz). El espectro que emplea S-DMB es el mismo que emplea DAB (*Digital Audio Broadcasting*), ha sido asignado por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) y es accesible en multitud de países. La transmisión de contenido multimedia a dispositivos móviles en Corea del Sur y Japón en la banda S es posible gracias a la alta potencia del satélite MBSAT que tiene una gran área de influencia, pero necesita refuerzos en las zonas interiores y en otros lugares donde la señal no es lo suficientemente potente.

A pesar de la alta potencia de señal que puede proporcionar un satélite, la recepción en dispositivos móviles requiere de técnicas robustas de corrección de errores y flexibilidad ante las cambiantes condiciones de la transmisión. S-DMB utiliza una modulación basada en CDMA (*Code Division Multiple Access*) mientras que T-DMB emplea OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Los 25 MHz de ancho de banda disponibles en la transmisión por satélite son suficientes para albergar 11 canales de vídeo, 30 canales de audio y 5 canales de datos. En S-DMB, el vídeo se transmite a 15 fps en oposición a los 30 fps de T-DMB.

Los servicios de T-DMB pueden emplear el espectro VHF, UHF, la banda S y la banda L, pero suelen operar en VHF, que fue el espectro designado para radiodifusión de servicios multimedia por vía terrestre en Corea del Sur. Un canal ordinario de televisión de 6 MHz puede albergar 8 canales de vídeo, 12 canales de audio y 8 canales de datos.

Tabla 44. Comparativa S-DMB con T-DMB.

	S-DMB	T-DMB
Transmisión	Satélite más repetidores	Transmisores terrestres
Alcance	Nacional	Una ciudad con red SFN
Frecuencia	Banda S	VHF (Corea) y Banda L (Europa)
Modulación	CDMA (Corea)	OFDM
Capacidad de canales	Vídeo 15 a 15 fps	Vídeo 6-9 a 30 fps en 6 MHz
	Audio 30	Audio estéreo 12-15 AAC+
	Datos 5	Datos 8

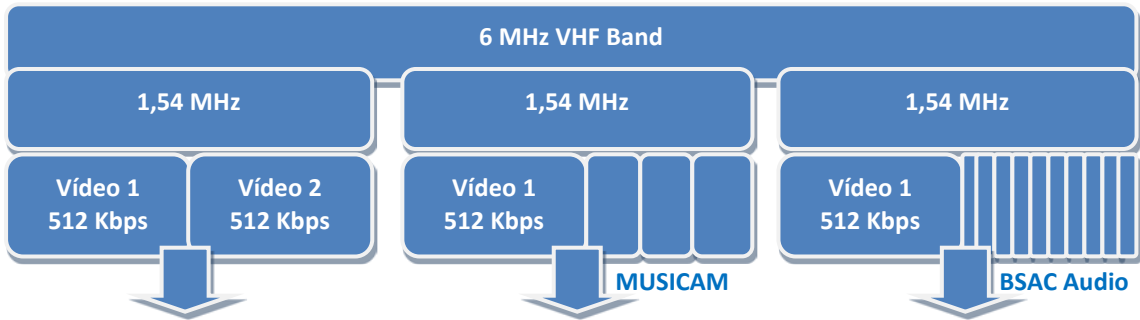
4.2.3. El servicio DMB en Corea del Sur

Los servicios de T-DMB (*Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting*) en Corea del Sur fueron impulsados por el gobierno inspirándose en el estándar Eureka 147 que evolucionaría en el sistema DAB (*Digital Audio Broadcasting*). Las especificaciones del estándar, del servicio y la asignación del espectro radioeléctrico a emplear culminaron en 2003.

Los requerimientos básicos que se plantearon para el sistema DMB fueron el proporcionar servicios de vídeo con calidad CIF (352x288 píxeles de resolución) a 30 fps y calidad de sonido estéreo con un muestreo de 48 kHz.

Se seleccionaron dos canales del espectro VHF y se dividieron en tres espacios cada uno para poder dar acogida hasta a seis proveedores de servicios T-DMB. Cada canal de 6 MHz se dividió en tres espacios de 1,54 MHz capaces de soportar una tasa de transmisión de datos de unos 1,7 Mbps, por lo que se asignó a cada proveedor 1,2 Mbps (por el espacio de seguridad entre bandas) para que acomodasen sus canales de vídeo y audio. Gracias a la codificación avanzada H.264/MPEG-4 *part* 10/AVC (*Advanced Video Coding*), se pueden acomodar entre dos y tres canales de televisión en un flujo *múltiplex*, o un canal de vídeo y varios de audio.

Figura 60. Esquema de la transmisión de servicios T-DMB en Corea del Sur.



Los servicios T-DMB comenzaron su andadura en 2005 y son difundidos empleando transmisores terrestres junto con repetidores para llegar a las zonas subterráneas y de interior.

Actualmente, hay seis distribuidores autorizados en Corea del Sur para radiodifundir servicios T-DMB: KBS, MBC, SBS, YTN, Korea DMB Co y U1 Media. Estos canales son herederos de las cadenas de radiodifusión nacional y son gratuitos.

4.2.4. Características tecnológicas de T-DMB

El estándar T-DMB (*Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting*) emplea algoritmos de compresión H.264, lo que le permite incluso transportar vídeo de calidad VCD (352x288 píxeles de resolución) a 30 fps. El audio se codifica a 96 kbps en MUSICAM en lugar de los 384 kbps del sistema DAB (*Digital Audio Broadcasting*). T-DMB también puede transportar vídeo en calidades superiores a QCIF y QVGA en caso de necesidad, pudiendo alcanzar la calidad VGA (640x489 píxeles de resolución) a 30 fps empleando *códecs* avanzados como MPEG-4 AVC. Para codificar audio en calidad de disco compacto (CD), T-DMB emplea el *códec* MPEG-4 ER/BSAC. Y para transmitir datos auxiliares (como gráficos), T-DMB emplea el *códec* MPEG-4 BIFS.

Tabla 45. Características tecnológicas de T-DMB.

Vídeo	H.264 (MPEG-4 <i>part</i> 10/AVC)
Audio	MPEG-4 <i>part</i> 3 BSAC Audio (<i>Bit Sliced Arithmetic Coding</i>)
Múltiplex	MPEG-2 TS transportando MPEG-4 SL
Codificación de canal	Reed-Solomon con entrelazado convolucional
Capa de transmisión	DAB (Eureka 147)
Datos	MPEG-4 BIFS

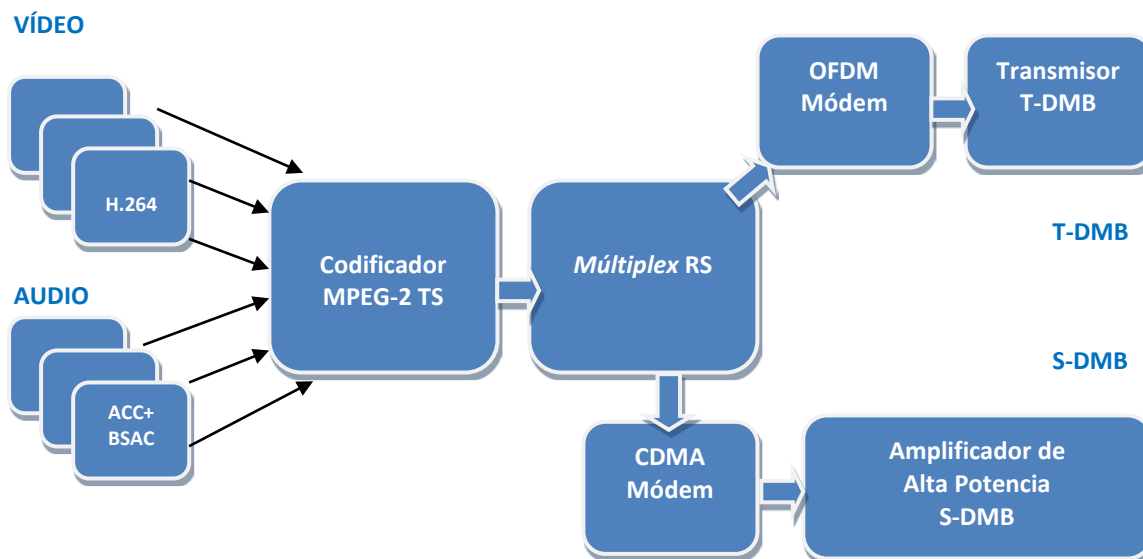
A pesar de que T-DMB no emplea la tecnología *time-slicing* como el estándar DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*), el que sus transmisiones sean de baja frecuencia, con portadoras de 1,55 MHz, ayuda a que el consumo energético de los receptores sea bajo.

Las empresas coreanas LG y Samsung se han implicado en el desarrollo del estándar DMB creando nuevas tecnologías, microprocesadores y dispositivos para la implementación de DMB. Los nuevos dispositivos desarrollados para recibir servicios DMB tienen la capacidad de utilizar un canal de retorno vía red CDMA, o vía GPRS, EDGE, Wi-Fi o WiBro⁸². El empleo de tecnologías MPEG-4 BIFS, junto con las plataformas Java y Brew, han permitido el desarrollo de aplicaciones cada vez más atractivas gráficamente para los usuarios.

Una estación de emisión T-DMB agrupa vídeo, audio y datos de varias fuentes o radiodifusores diferentes. El vídeo se codifica en MPEG-4 o H.264, y el audio en AAC+ o BSAC. Después, las salidas del codificador se configuran en el MPEG-2 *Transport Stream* y todos los otros parámetros como el ESG (*Electronic Service Guide*) son asignados a él para, a continuación, ser cifrados. Luego, el flujo de datos MPEG-2 se somete a una codificación RS (Reed-Solomon) para corregir los errores y a un entrelazado convolucional, y se posiciona en un canal DAB. La señal final es modulada en OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) y transmitida. Para la recepción por repetidores de S-DMB, se emplea la modulación CDMA (*Code Division Multiple Access*).

⁸² La tecnología WiBro se explica más adelante en este capítulo.

Figura 61. Esquema de la señal T-DMB.



4.2.5. Características tecnológicas de S-DMB

Los primeros servicios S-DMB (*Satellite-Digital Multimedia Broadcasting*) comenzaron cuando Corea del Sur decidió lanzar un satélite de comunicaciones, el MBSAT, para proporcionar servicios de vídeo, audio y datos a Corea del Sur y Japón sin interferir con los sistemas de comunicación de otros países. La alta potencia de transmisión del MBSAT permite a los dispositivos móviles recibir la señal directamente. Ciertas áreas interiores y subterráneas emplean repetidores de señal para tener cobertura, pero siempre operando en la banda S. El MBSAT es único y cualquier posibilidad de recibir servicios S-DMB en otro lugar del mundo que no sea Corea del Sur o Japón dependerá de la disponibilidad de un satélite con una potencia de transmisión similar.

El sistema técnico para servicios por satélite en DMB está designado por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) como ITU-R BO.1130-4 y se basa en la tecnología de modulación CDMA (*Code Division Multiple Access*), aunque no es idéntica a la tecnología CDMA que emplean las redes 3G. El sistema de transmisión emplea la banda Ku para el enlace de subida y la banda S para el enlace de bajada.

Las transmisiones a dispositivos móviles en la banda S emplean la franja de frecuencias de los 2630 a los 2655 GHz con un ancho de banda de 25 MHz. El empleo de sistemas avanzados de corrección de errores permite una capacidad de transmisión de 7,68 Mbps,

suficiente para proporcionar 15 servicios de vídeo y multitud de servicios de audio y datos. Para la cobertura en áreas interiores, los repetidores de la banda S reciben señales en la banda Ku (12 214 a 12 239 GHz). Este sistema de cobertura dual, satélite-terrestre, asegura la recepción en áreas urbanas.

Figura 62. Esquema de la señal S-DMB.

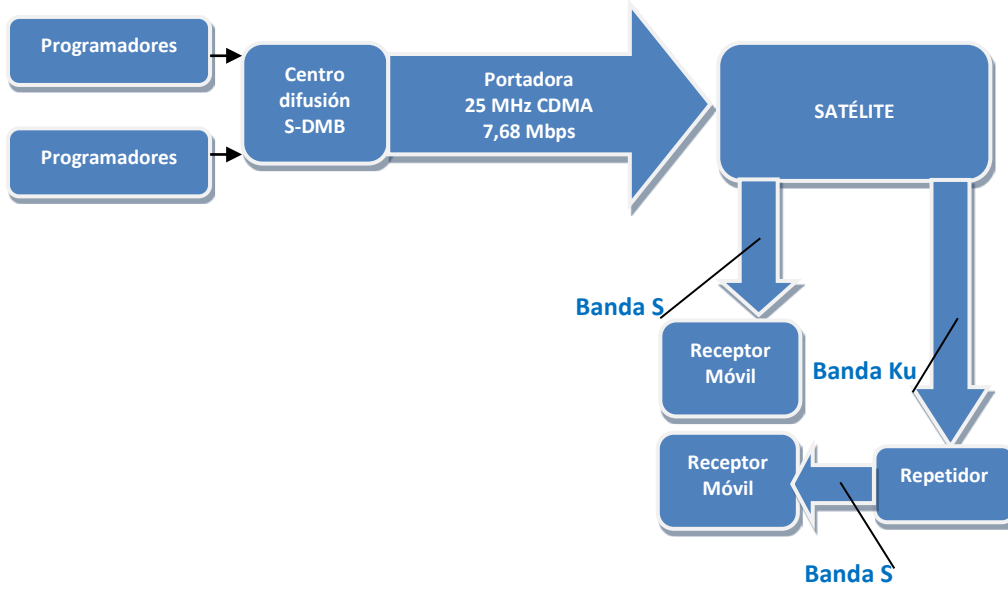


Tabla 46. Características tecnológicas de S-DMB.

Vídeo	H.264/MEPG-4 <i>part</i> 10/AVC
Audio	MPEG-2 AAC+
Múltiplex	MPEG-4 SL / MPEG-2 TS
Codificación de canal	Reed-Solomon. Entrelazado convolucional
Capa de transmisión	DAB (Eureka 147)
Datos	MPEG-4 BIFS

4.2.6. Implementación del sistema DMB

En 2005, Corea del Sur se convirtió en el primer país del mundo con servicios S-DMB (*Satellite-Digital Multimedia Broadcasting*) y T-DMB (*Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting*). En diciembre de 2006, el servicio de T-DMB en Corea del Sur consistía en 7 canales de televisión, 12 emisoras de radio y 8 canales de datos. En 2009, había 8 canales de vídeo DMB en Seúl y seis en otras ciudades metropolitanas. A mediados de 2011, se calculaba que en Corea del Sur había más de 50 millones de dispositivos con

tecnología T-DMB.

En Noruega, los servicios de T-DMB han estado disponibles desde mayo de 2009. El servicio MiniTV, lanzado por el canal Norwegian Mobile TV Corporation (NMTV), está respaldado por las tres emisoras más importantes de Noruega: la emisora pública NRK, TV2 y Modern Times Group (MTG). En Alemania, la compañía MFD (*Mobiles Fernsehen Deutschland*) puso en marcha el servicio comercial de T-DMB "Watcha" en junio de 2006, a tiempo para la Copa del Mundo, que se comercializó junto con el teléfono móvil de Samsung P900 DMB, el primer teléfono DMB de Europa. Cesó su actividad en abril de 2008 para favorecer al estándar europeo DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*). En diciembre de 2007, Francia eligió T-DMB audio en la banda VHF III y la banda L como el estándar nacional para radio digital terrestre. En los Países Bajos, MFD y T-Systems, junto con inversores privados, están planeando un servicio DMB bajo el nombre Mobiele TV Nederland. La compañía CallMax también ha planeado desplegar un servicio DMB en la frecuencia de banda L en los Países Bajos. La RAI italiana y Radio Vaticano han efectuado también pruebas con el sistema T-DMB.

Foto 34. Modelo P900 DMB de Samsung. Imagen tomada del sitio: Golden Phones.
<http://golden-phones.com/samsung/samsung-p900.html>



En 2006, China adoptó DAB (*Digital Audio Broadcasting*) como estándar tecnológico. Desde 2007, los sistemas DAB y T-DMB proporcionan servicios en Beijing, Guangdong, Henan, Dalian, Yunnan, Liaoning, Hunan, Zhejiang, Anhui, y Shenzhen.

En Indonesia, se está probando la tecnología en Yakarta. Malasia realiza pruebas desde 2008 en Kuala Lumpur. En 2010, Camboya eligió T-DMB como el estándar nacional para la radiodifusión digital terrestre.

En México, la mayoría de las compañías telefónicas ofrecen servicios de radiodifusión DMB como parte de sus planes básicos. Desde 2008, la gran mayoría de México recibe señales DMB.

En Ghana, está en marcha un servicio de T-DMB en Accra y Kumasi desde mayo de 2008.

Canadá ha estado realizando pruebas desde 2006 en Ottawa, Toronto, Vancouver y Montreal.

Tabla 47. Estado de implantación mundial de los estándares DAB, DAB+ y DMB.

Países con servicios regulares	Países con pruebas	Países interesados
Australia	Austria	Estonia
Bélgica	Sultanato de Brunei	Finlandia
China	Canadá	Grecia
República Checa	Taiwán	La India
Dinamarca	Croacia	Lituania
Francia	El Vaticano	Namibia
Alemania	Hungría	Portugal
Ghana	Indonesia	Rusia
Gibraltar	Israel	Serbia
Hong Kong	Kuwait	Singapur
Irlanda	Malasia	Eslovaquia
Italia	Mónaco	Turquía
Japón	Nueva Zelanda	Emiratos Árabes Unidos
Malta	Rumanía	
México	Eslovenia	
Países Bajos	Sudáfrica	
Noruega	Tailandia	
Polonia	Túnez	
Corea del Sur	Vietnam	
España		
Suecia		
Suiza		
Reino Unido		

4.2.7. El sistema CMMB

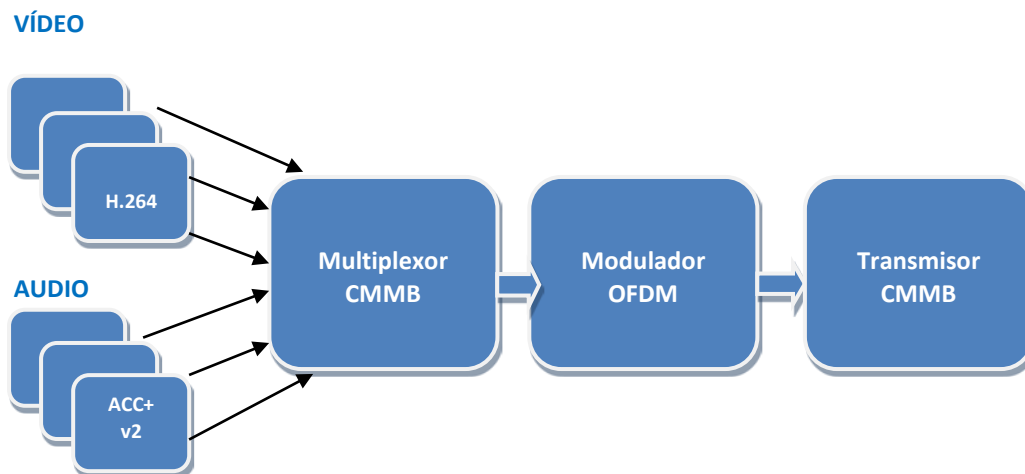
En el año 2007, el gobierno chino decidió que CMMB (*China Multimedia Mobile Broadcasting*) sería su estándar tecnológico para la difusión de contenidos multimedia a dispositivos móviles. Los Juegos Olímpicos de 2008 aceleraron la implementación del sistema implicando a la mayoría de las estaciones de radiodifusión del país. La agencia estatal CSMB (*China Satellite Mobile Broadcasting corporation*) también está desarrollando un sistema híbrido satélite-terrestre para la transmisión de servicios CMMB.

4.2.7.1. Características tecnológicas de CMMB

El sistema CMMB (*China Multimedia Mobile Broadcasting*) es muy parecido al sistema DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*), ya que su flujo de datos se codifica en un sistema llamado CMMB-TS (*Transport Stream*) que es muy parecido al MPEG-2. Las portadoras de 4K se modulan en OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) con un ancho de banda de 8 MHz. También existe la posibilidad de emplear un ancho de banda de 2 MHz con portadoras de 1K, lo que permite utilizar el espectro de DAB (*Digital Audio Broadcasting*) y sus portadoras de 1,7 MHz. Como CMMB se modula en OFDM, el sistema puede transmitir en SFNs (*Single Frequency Network*) con la ayuda de un adaptador.

CMMB emplea el códec H.264 con resolución QVGA y 30 fps para vídeo, y HE-AAC (*High Efficiency-Advanced Audio Coding*) y AAC+v2 para audio. La modulación OFDM permite un ancho de banda de 8 MHz que proporciona 7,512 MHz reales capaces de transportar 3077 portadoras en la banda UHF (470-860 MHz) o en la banda S (2635-2660 MHz).

Figura 63. Esquema de la señal CMMB.



El sistema CMMB se diseñó para poder trabajar en redes SFN (*Single Frequency Network*) o MFN (*Multi Frequency Network*). CMMB permite una distancia entre transmisores de SFN de unos 16 km.

La configuración del servicio CMMB plantea un sistema híbrido satélite-terrestre con el satélite operando en la banda S para toda la nación y los repetidores operando en la

banda UHF para las zonas urbanas. A día de hoy, la parte terrestre está implementada en varios territorios de China, pero la parte satélite está todavía por implementar.

4.2.8. El sistema DTMB

A pesar de los esfuerzos por implementar el sistema CMMB (*China Multimedia Mobile Broadcasting*) para televisión digital en movilidad, China ya poseía un estándar nacional para la radiodifusión terrestre de televisión llamado DTMB⁸³ (*Digital Terrestrial Multimedia Broadcast*), que fue diseñado para remplazar la señal de televisión analógica y adaptarse a las nuevas pantallas en alta definición.

4.3. EL ESTÁNDAR ATSC M/H

ATSC-M/H (*Advanced Television Systems Committee-Mobile/Handheld* o A/153) es un estándar que permite la difusión IP de televisión digital a receptores portátiles o móviles. Este sistema utiliza tan sólo una parte de los 19.39 Mbps de ancho de banda disponible en un canal de 6 MHz en el sistema ATSC (A/53). ATSC-M/H fue aprobado como estándar el 15 de octubre de 2009 y revisado el 1 de junio de 2011, y es utilizado en Norte América y Corea del Sur.

4.3.1. El sistema ATSC

En el año 2006, empresas líderes de la industria de la televisión digital se asociaron formando la Mobile DTV Alliance (MDTV) para fomentar el desarrollo de la televisión en movilidad y favorecer la implementación del estándar DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*) en Norteamérica. El ATSC (*Advanced Television System Committee*) fue creado para reemplazar en los Estados Unidos el sistema de televisión analógica en color NTSC sustituyéndolo por televisión digital.

La OMVC (*Open Mobile Video Coalition*) es una alianza de radiodifusores que tiene el objetivo de desarrollar la televisión digital en movilidad y que se ha unido recientemente a la NAB (*National Association of Broadcasters*). Bajo el auspicio de la OMVC, se han llevado a cabo ensayos de la tecnología ATSC y se ha comprobado que su sistema de transmisión podría ser fácilmente modificado para la difusión de datos de

⁸³ El sistema DTMB se explica en el capítulo 5.

vídeo digital en movilidad, lo que ha convertido al ATSC en un estándar para la televisión digital en movilidad.

La digitalización de las redes de televisión ha supuesto para los radiodifusores todo un nuevo abanico de posibilidades de negocio ya que, con sólo adaptarse a las normas del ATSC, pueden acceder a un nuevo e inmenso mercado de dispositivos móviles que aumenta cada día. La difusión a dispositivos móviles ofrece más opciones tecnológicas que la difusión de televisión digital convencional ya que incluye, por ejemplo, la capacidad interactiva de los dispositivos.

El término de dispositivo móvil abarca una gran variedad de aparatos, que van desde receptores portátiles de televisión a teléfonos móviles, *smartphones*, *tablets*, sistemas de navegación y dispositivos montados en vehículos. Debido al reducido tamaño de la pantalla de los dispositivos móviles, la señal de vídeo digital en movilidad no suele tener un ancho de banda superior a los 600 kbps, lo que permite difundir múltiples canales a través de una única portadora. Las aplicaciones se pueden transmitir a través de otro canal y su contenido puede variar desde información meteorológica a gráficos, juegos o el estado del tráfico. También puede incluirse información de geolocalización GPS si el dispositivo lo permite, lo que ha dado lugar a la creación de aplicaciones propias de los dispositivos de televisión digital en movilidad que son una combinación de servicios de geolocalización y televisión digital.

El sistema ATSC tiene que afrontar también los dos problemas técnicos principales que conlleva la difusión de televisión digital a dispositivos móviles: la potencia de la señal (los dispositivos tienen antenas pequeñas y están en movimiento), y el consumo de las baterías. En el marco de la organización DVB (Digital Video Broadcasting), el problema de la potencia de la señal se ha resuelto mediante el empleo de un protocolo MPE-FEC (*Multi-Protocol Encapsulation-Forward Error Correction*), y el del consumo energético mediante la técnica de *time-slicing*. Estas mismas técnicas han sido aplicadas al estándar ATSC. La televisión digital en el sistema ATSC codifica el vídeo en H.264 (MPEG-4/AVC), lo que permite una descarga superior a 1 Mbps (sin errores) y una tasa de transmisión de datos de 3 Mbps en la portadora principal que proporciona múltiples canales de entre 300 y 600 kbps. Lo normal es que un ancho de espectro de 6 MHz permita hasta 16 canales de vídeo digital junto con otros servicios digitales gracias

a los 19,39 Mbps que proporciona el sistema ATSC.

El sistema ATSC puede proporcionar servicios de vídeo digital en *streaming* y de descarga bajo demanda.

4.3.2. La OMVC (Open Mobile Video Coalition)

La OMVC (Open Mobile Video Coalition) es una asociación pública estadounidense de radiodifusores que tiene el objetivo de acelerar el desarrollo e implementación de la televisión digital en movilidad. Esta asociación surge debido a la necesidad de resolver el problema de la multiplicidad de estándares existente en el mercado. La OMVC ha propuesto varias normativas para la implementación de la televisión digital bajo el sistema ATSC. Gracias a sus esfuerzos de estandarización en emisores y receptores, se estima que la OMVC tiene influencia sobre aproximadamente 100 millones de hogares.

4.3.3. Características tecnológicas de ATSC M/H

ATSC Mobile DTV, A/153 o ATSC M/H es el estándar adoptado por el Advanced Television System Committee (ATSC) para la radiodifusión de vídeo digital a dispositivos móviles. Sus características principales son:

- Retrocompatibilidad con los estándares anteriores de ATSC. No es necesaria ninguna modificación en los receptores para recibir los nuevos contenidos. Los radiodifusores pueden continuar empleando la misma red de difusión.
- Mismo espectro radioeléctrico. La radiodifusión tiene lugar en la misma franja del espectro radioeléctrico que la que se emplea para la difusión de televisión digital.
- Interactividad. El empleo de OMA-REM (*Open Mobile Alliance–Rich Media Environment*) permite el funcionamiento de diversas aplicaciones interactivas de publicidad, comerciales o de control de audiencias.

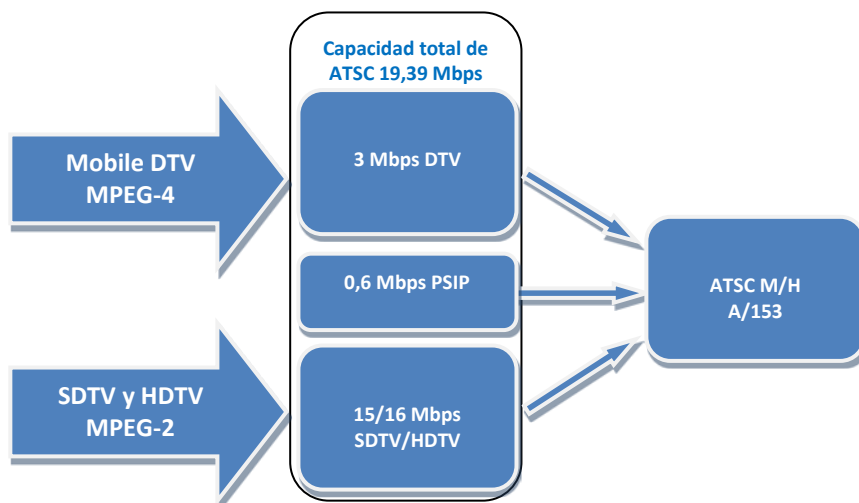
La OMVC ha identificado cuatro tipos de dispositivos capaces de recibir contenidos radiodifundidos bajo el estándar ATSC: teléfonos móviles, ordenadores portátiles, receptores portátiles de televisión y dispositivos en vehículos.

El sistema ATSC M/H (*Advanced Television Systems Committee Mobile/Handheld*) funciona empleando una pequeña parte de los 19,39 Mbps de la transmisión del sistema

ATSC que se utilizan para vídeo auxiliar. La corriente de transmisión ATSC transporta este vídeo auxiliar que ha sido codificado para obtener una resistencia extra. El proceso de adaptación de una estación ATSC para que pueda difundir televisión digital en movilidad conlleva las siguientes necesidades:

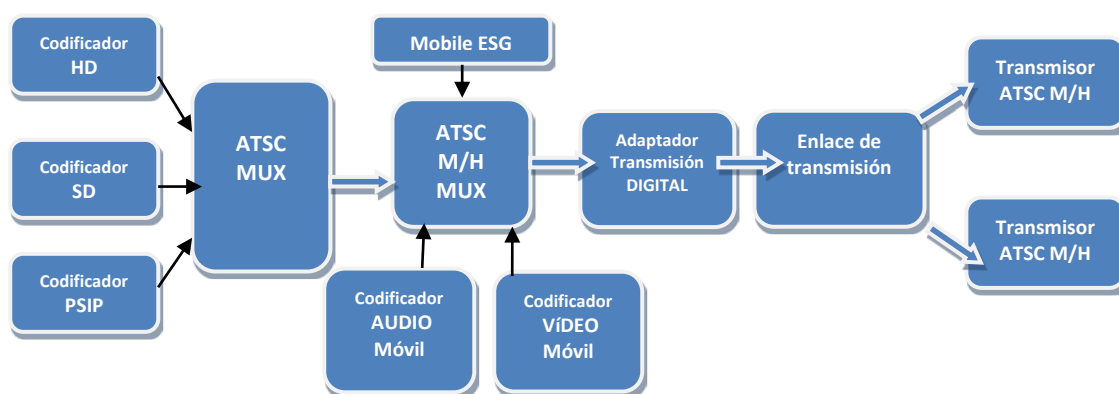
- Un multiplexor ATSC M/H. El sistema ATSC M/H es compatible con el flujo de transmisión ATSC estándar. Este flujo de transmisión transporta vídeo codificado en MPEG-2, audio, datos y PSIP (*Program and System Information Protocol*). También permite el transporte de datos de ATSC M/H codificados en MPEG-4. El multiplexor genera a partir de estas dos transmisiones una corriente compatible con A/153 que se puede radiodifundir.
- Un modulador ATSC M/H. El modulador puede trabajar como un transmisor individual o como un sistema de transmisión DTS (*Distributed Transmitter System*). Cuando se utiliza como DTS es necesario sincronizar el transporte de la información mediante un DTA (*Digital Transmission Adapter*). Una vez sincronizada la señal, el modulador genera una radiofrecuencia para el transmisor.
- Un transmisor. El sistema ATSC M/H emplea el mismo transmisor que el sistema ATSC convencional, por lo que no es necesaria ninguna modificación.

Figura 64. Ancho de banda de la portadora de ATSC empleado para el transporte de vídeo digital para dispositivos en movilidad.



Los estándares para ATSC M/H están siendo desarrollados en ATSC por el TSG (Technology and Standards Group). El TSG dicta las normas que deben seguir los fabricantes de procesadores, diseñadores de *software* y fabricantes de receptores para estar dentro del estándar ATSC.

Figura 65. Esquema de un sistema ATSC M/H.



4.3.4. Tipos de contenido, codificación y capacidad

El sistema ATSC M/H (*Advanced Television Systems Committee Mobile/Handheld*) puede transportar audio, vídeo, gráficos escalares y datos auxiliares (subtítulos, teletexto, etc). La normativa A/153 especifica las características que cada uno de estos elementos debe tener antes de su codificación para que la señal se pueda después decodificar correctamente.

4.3.4.1. Vídeo

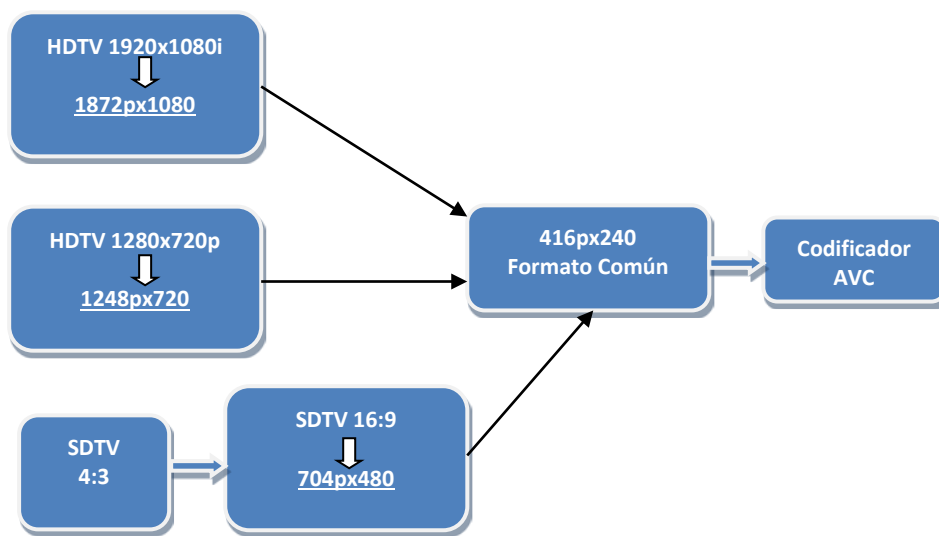
El vídeo se codifica en H.264 con una relación de aspecto de 16:9. Como el vídeo original puede venir en muchos formatos diferentes, se han establecido unas normas para preprocesar el vídeo antes de su codificación:

- La alta definición (1920x1080i) se recorta en 48 píxeles (24 por la izquierda y 24 por la derecha) para convertirse en 1872x1080i. Entonces se desentrelaza y remuestrea a 416p x 240 líneas.
- La alta definición (1280x720p) se recorta en 16 píxeles por cada lado para quedarse en 1248x720p). Luego se remuestrea a 416px240 líneas.

- La definición estándar (480i) y la definición aumentada (480p) con relación de aspecto de 16:9 a 720 píxeles por línea se recorta en 8 píxeles por los dos lados dando lugar a 704x480 que se remuestrea a 416p x240 líneas (después de desentrelazar el 480i). En el caso de la definición estándar con relación de aspecto 4:3, se reescala a 16:9 y después se convierte a 416p x240 líneas.

Todo este proceso permite que la tasa de codificación máxima sea de 768 kbps, que se codifican en paquetes en formato IP.

Figura 66. Esquema de los formatos de vídeo en el sistema ATSC M/H.



4.3.4.2. Audio

El audio en el sistema ATSC M/H (*Advanced Television Systems Committee Mobile/Handheld*) se comprime en MPEG-4/HE-AAC v2 (*High Efficiency-Advanced Audio Coding* versión 2). El empleo de un sistema de codificación altamente eficiente permite una frecuencia de muestreo de vídeo de 24 kHz con 144 kbps empleando SBR⁸⁴ (96 kbps con una frecuencia de muestreo de 16 kHz). Los paquetes de audio, después de su codificación, se transportan mediante RTP (*Real-time Transport Protocol*) en UDP (*User Datagram Protocol*) mediante un encapsulador IP.

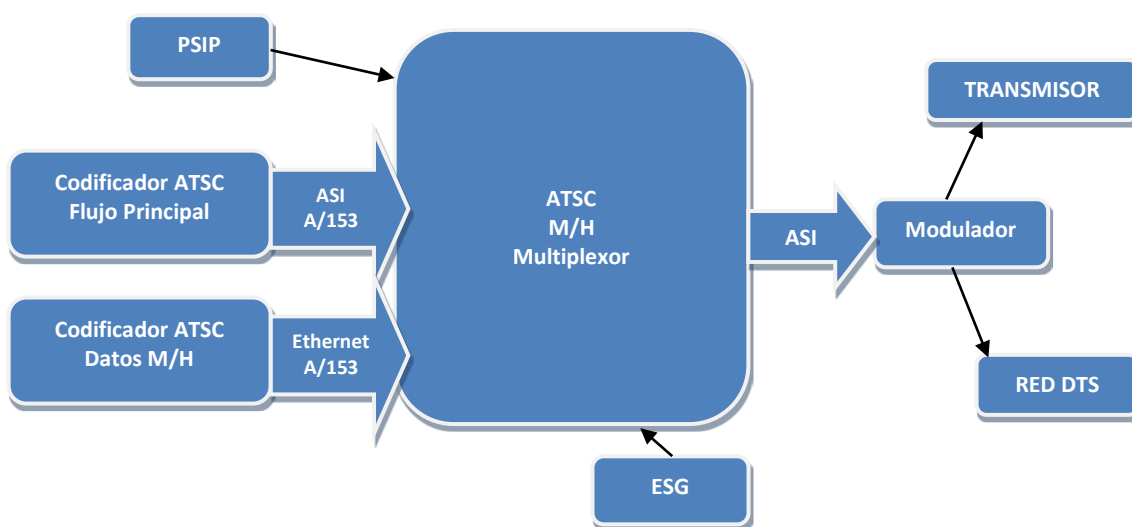
⁸⁴ *Spectral Band Replication* (SBR) es una tecnología empleada para mejorar los códecs de audio, especialmente a bajas tasas de transmisión. El códec transmite las frecuencias más bajas, mientras que el SBR reconstruirá las altas frecuencias a partir de la información proporcionada por el rango de frecuencias ya comprimido por el códec y un pequeño flujo de datos asociado.

El sistema ATSC M/H puede soportar audio y vídeo en múltiples formatos, además de procesarlo, codificarlo y enviarlo a varios tipos de red diferentes.

4.3.4.3. Multiplexado de canales

Los paquetes de datos de ATSC M/H (*Advanced Television Systems Committee Mobile/Handheld*) para dispositivos móviles después de ser codificados necesitan ser *multiplexados* según el estándar A/153 para unirse a la corriente de datos del sistema ATSC. El multiplexor suele tener dos entradas, una para el flujo principal de ATSC y otra para los datos M/H. Normalmente, las señales ATSC llegan al multiplexor en formato ASI (*Asynchronous Serial Interface*). La señal M/H llega mediante un puerto Ethernet en paquetes de datos IP. La señal de salida del multiplexor, que contiene los datos ATSC y M/H juntos en formato ASI y es compatible con A/153, se envía a un modulador que se puede comunicar con un único transmisor o con una red DTS (*Distributed Transmission System*).

Figura 67. Esquema de *multiplexado* de canales en ATSC M/H.



El sistema ATSC M/H se diseñó para facilitar la implementación de la televisión digital en movilidad reduciendo al mínimo las modificaciones necesarias en los sistemas de transmisión preexistentes. No obstante, las siguientes actualizaciones son necesarias para que el sistema funcione:

- Un multiplexor ATSC M/H capaz de combinar los contenidos ATSC con los

M/H en una misma señal combinada compatible con el estándar A/153.

- El modulador ATSC debe ser reemplazado para hacerlo compatible con el sistema de transmisión de señal DTS.
- Los programas de televisión necesitan una ESG (*Electronic Service Guide*) que se obtiene añadiendo un generador ESG al multiplexor de señal.

4.3.5. Transmisión de señal en ATSC

La transmisión de televisión digital en movilidad en ATSC (*Advanced Television Systems Committee*) no requiere de ninguna adaptación en los transmisores. Sin embargo, esto no sucede con los receptores. Los requisitos necesarios para recibir televisión digital en movilidad son distintos a los de los receptores fijos. Los receptores fijos pueden soportar antenas con una alta ganancia, mientras que los móviles no sólo tienen antenas de baja ganancia, sino que además deben de ser capaces de funcionar en el interior de los edificios. Si también se tiene en cuenta el problema añadido de la resistencia al error de la señal debido a posibles fallos en la codificación de la misma, se observa que para la difusión de televisión digital en movilidad resulta más práctico el tener varios transmisores de baja potencia que unos pocos de gran potencia cubriendo amplias áreas.

Un sistema DTS (*Distributed Transmission System*) con un único centro de transmisión ATSC *multiplexado* es el mejor sistema para transmitir ATSC M/H. El modulador ATSC M/H operando en el sistema DTS emplea un reloj por GPS para retrasar la señal y que todos los transmisores la envíen sincronizada. El sistema DTS está diseñado siguiendo las especificaciones de ATSC dictadas por la normativa A/110.

4.3.6. Redes de transmisión ATSC

El sistema ATSC (*Advanced Television Systems Committee*) emplea las antiguas torres de transmisión para NTSC (*National Television Systems Committee*) que solían tener áreas de cobertura de unos 50 km de radio. Este tipo de transmisores funcionan bien para ATSC en combinación con antenas exteriores e interiores, e incluso con dispositivos móviles cuando se encuentran en el exterior y con línea visual directa con el transmisor.

Para la transmisión a dispositivos móviles en interiores es necesario emplear una red

SFN (*Single Frequency Network*). Sin embargo, SFN es una característica de los sistemas OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). En el sistema ATSC, DTS (*Distributed Transmission System*) es el equivalente a SFN en OFDM. En una red SFN, el principal requisito de los transmisores es que se sincronicen para transmitir. ATSC transmite en una red DTS que no es obligatoria para poder transmitir televisión digital en movilidad, pero se vuelve necesaria a medida que aumentan el número de receptores. Según la normativa de la FCC (*Federal Communications Commission*), las estaciones DTS deben sincronizarse siguiendo las regulaciones de ATSC.

4.3.7. Transmisión de datos en ATSC M/H

El sistema (*Advanced Television Systems Committee Mobile/Handheld*) puede proporcionar servicios de datos como noticias, información meteorológica, información del tiempo, contenido de vídeo descargable, etc. Estos servicios incluyen una ESG (*Electronic Service Guide*) que siempre está disponible para poder acceder al resto de servicios.

La señal de ATSC no cambia para los dispositivos fijos. Los servicios M/H son introducidos aparte, por lo que la señal puede ser sólo ATSC o ATSC M/H.

4.3.8. Servicio de Guía Electrónica ESG

En el sistema ATSC M/H (*Advanced Television Systems Committee Mobile/Handheld*), un servicio se define como un grupo de canales virtuales que son entregados en un flujo de paquetes de datos. Estos datos se transportan en UDP (*User Datagram Protocol*) mediante el protocolo FLUTE (*File Delivery over Unidirectional Transport*). El ESG (*Electronic Service Guide*) es la herramienta que los usuarios emplean para obtener información de los programas y elegir qué canal visionar. También sirve como interfaz para los servicios de suscripción y de pago por visión.

El sistema ATSC M/H utiliza un servicio ESG (*Electronic Service Guide*) basado en las especificaciones dictadas por OMA-BCAST (*Open Mobile Alliance-Mobile Broadcast Services Enabler Suite*). Eso hace que este ESG sea muy flexible y pueda funcionar también en otras plataformas para difusión de televisión digital en movilidad como DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*) y MBMS (*Multimedia Broadcast Multicast Service*). El ESG de ATSC está basado en lenguaje XML (*eXtensible Markup*

Language).

4.3.9. Implementación del estándar ATSC M/H

ATSC (*Advanced Television Systems Committee*) son un conjunto de normas elaboradas por el Comité de Sistemas de Televisión Avanzada para la transmisión de televisión digital a través de redes terrestres, de cable y de satélite. Los estándares ATSC fueron desarrollados en la década de los noventa por la Grand Alliance (GA), un consorcio formado por la FCC (Federal Communications Commission) y varias empresas de telecomunicaciones que se creó para desarrollar un estándar de lo que hoy se conoce como televisión de alta definición.

El 1 de diciembre de 2008 ATSC solicitó el estatus de estándar para la televisión digital en movilidad. En los meses siguientes, la industria comenzó a evaluar el sistema y un gran número de estaciones de difusión estadounidenses se sumaron al proyecto.

El estándar ATSC M/H tiene su campo de implementación en los países que han adoptado como norma para la televisión digital terrestre el estándar ATSC, y que han sido: Estados Unidos desde 1996 (incluye Puerto Rico, las Islas Vírgenes de los Estados Unidos, Samoa Americana, Guam e Islas Marianas del Norte), Canadá desde 1997, Corea del Sur desde 1997, México desde 2004, Honduras desde 2007, El Salvador desde 2009 y la República Dominicana desde 2010.

Según el *ATSC 2013 Annual Report* (Informe Anual 2013 de la ATSC), actualmente más de 130 estaciones están transmitiendo señales de televisión digital en movilidad basadas en el estándar A/153. La ATSC quiere fomentar la creación de dispositivos móviles con capacidades de recepción ATSC argumentando que, dado que la difusión de televisión digital en movilidad no utiliza los servicios de los teléfonos móviles para la recepción de televisión, el disfrute de los servicios de vídeo no gravará en el plan de datos de los dispositivos que estén equipados con tecnología ATSC. También anuncian que su sistema elimina los problemas de *buffering* propios del vídeo en *streaming*.

Recibir una señal de televisión digital en movilidad mediante tecnología ATSC hasta el año 2008 era muy difícil, sobre todo en dispositivos móviles que se estuviesen desplazando a gran velocidad. Por ello, se han propuesto varios sistemas capaces de proporcionar una mejor recepción móvil como candidatos para formar un nuevo

estándar.

El futuro de ATSC pasa por su evolución al nuevo estándar ATSC 3.0, que mejora las prestaciones del estándar ATSC M/H y que se rumorea que no es compatible hacia atrás con los estándares anteriores. La nueva normativa permitirá dar servicios de televisión interactiva mediante la conexión de la televisión a Internet. Otras características incluyen la compresión de vídeo avanzada, la medición de audiencias, publicidad dirigida, guías de programación (ESG) mejoradas, servicios de vídeo bajo demanda y contenidos en tiempo no real. Se espera que ATSC 3.0 pueda ofrecer servicios de vídeo con resolución 3840×2160 a 60 fps.

4.4. EL ESTÁNDAR MEDIAFLO

MediaFLO (*Media Forward Link Only*) es una tecnología desarrollada por la empresa Qualcomm para la radiodifusión de televisión digital móvil a dispositivos portátiles y que se utilizaba tan sólo en Estados Unidos. Esta tecnología permitía la radiodifusión de canales en tiempo real, en tiempo no real, la difusión de audio y transmisiones de datos IP.

4.4.1. El sistema MediaFLO

En marzo de 2007, la empresa Verizon lanzó en Estados Unidos un servicio de televisión digital en movilidad llamado VCAST con ocho canales de televisión que ofrecían unas prestaciones nunca vistas hasta la fecha y que eran muy superiores a las de la televisión digital en movilidad a través de redes 3G. El vídeo transmitido tenía una gran calidad, muy superior a la que podía proporcionar el sistema 3G, y estaba basado en una nueva tecnología llamada MediaFLO (*Media Forward Link Only*). Un año después, la empresa AT&T lanzó un servicio de televisión digital en movilidad llamado AT&T Mobile TV, también basado en la tecnología MediaFLO. Los servicios MediaFLO empleaban el canal 55 de la banda UHF (700 MHz), que en Estados Unidos estaba gestionada por la empresa Qualcomm Inc.

En octubre de 2010, Qualcomm anunció el fin de la comercialización del servicio a los consumidores. En diciembre de 2010, AT&T anunció que iba a adquirir las licencias del espectro de banda de Qualcomm. El servicio de FLO TV cesó el 27 de marzo 2011.

A pesar de ser un sistema que ya no está operativo, las innovaciones tecnológicas que introdujo el sistema MediaFLO merecen un análisis.

La tecnología MediaFLO fue diseñada pensando exclusivamente en proporcionar el mejor servicio posible de televisión digital en movilidad sin basarse en otras tecnologías previamente existentes. Proporcionaba vídeo en resolución QVGA (320x240 píxeles) a 30 fps gracias a una codificación H.264 y a un eficiente sistema de *multiplexado* de señal. Su eficaz diseño permitía que un espacio de 6 MHz de banda pudiera acoger 20 canales de televisión. MediaFLO también incorporaba sistemas para el ahorro de energía en los dispositivos móviles, un servicio EPG (*Electronic Program Guide*) y podía transportar datos complementarios. La transmisión de señal de televisión en MediaFLO se basaba en una tecnología denominada «*Forward Link Only*» o FLO, que es muy robusta y está registrada como ETSI TS 102 589. El sistema de codificación y modulación de la señal que empleaba MediaFLO permitía a los receptores recibir siempre la máxima calidad de señal, incluso en condiciones adversas de transmisión.

La tecnología del sistema MediaFLO fue diseñada y desarrollada por la empresa Qualcomm y se empleaba exclusivamente en Estados Unidos. El tener un único desarrollador hizo que MediaFLO fuese un sistema muy robusto y potente.

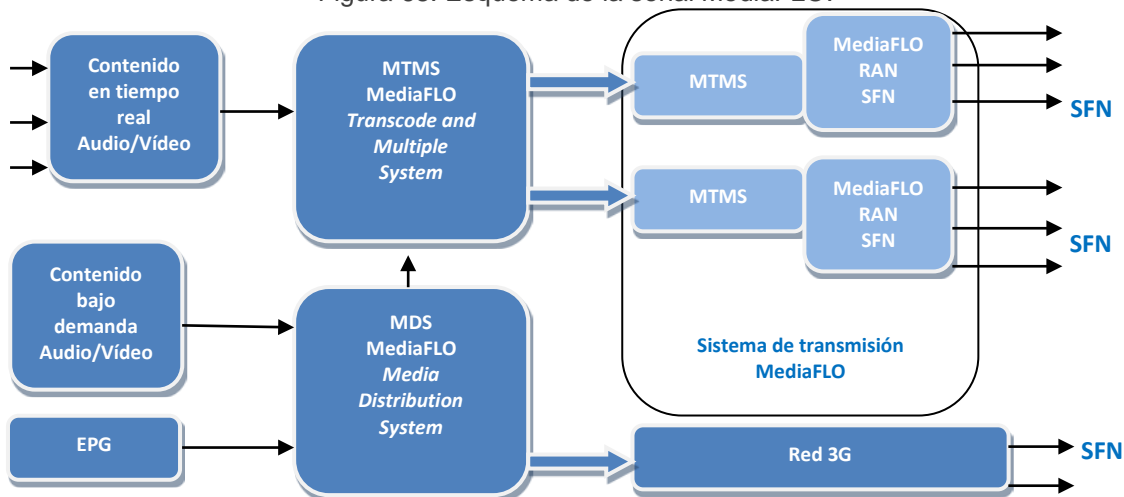
La tecnología MediaFLO permite a los radiodifusores enviar sus contenidos en directo, por vía satélite o mediante fibra óptica a la central de transmisión de MediaFLO. Una vez allí, son descodificados y el audio y el vídeo se recodifican y procesan en el sistema MediaFLO mediante un sistema de *multiplexación* llamado MTMS (*MediaFLO Transcode and Multiple System*). En contraste con los sistemas de canales múltiples en los que se basa la *multiplexación* de los sistemas basados en tecnologías MPEG-2, la *multiplexación* en MediaFLO se basa en flujos de datos. El audio y el vídeo se codifican y se asignan a un flujo de datos cuyo ancho de banda depende de la cantidad de datos que hayan resultado después de la codificación, lo que lo convierte en un sistema muy eficiente de cara a la *multiplexación* de la señal. Además, los flujos de datos se combinan en la transmisión MediaFLO con una técnica de división de tiempo basada en *time-slicing* para ahorrar energía a los receptores.

El sistema MediaFLO lleva también un dispositivo para procesar vídeo bajo demanda y

un sistema EPG (*Electronic Program Guide*) llamado MDS (*MediaFLO Distribution System*).

Finalmente, el sistema MediaFLO emite en una red SFN (*Single Frequency Network*) que depende de una red de repetidores de radio llamados RANs (*Radio Access Nodes*).

Figura 68. Esquema de la señal MediaFLO.



4.4.2. Características tecnológicas de MediaFLO

Se pueden distinguir dos tipos de tecnologías en el sistema de transmisión de MediaFLO (*Media Forward Link Only*). Por un lado estaría el FLO Air Interface, que opera empleando una *multiplexación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)* para crear corrientes de flujos de datos de audio y vídeo, y que posee un sistema de corrección de errores. Y por otro lado estaría el protocolo OSI (*Open System Interconnection*) que sirve para que operen las aplicaciones de datos como la televisión bajo demanda.

La capa física de la tecnología FLO se basa en la *multiplexación OFDM* y emplea portadoras de 1K, 2K, 4K y hasta 8K. En un sistema 4K OFDM, cada *símbolo* está representado por 4096 portadoras, lo que la da una gran tolerancia al retardo por dispersión de canal. De las 4096 portadoras, 96 no se utilizan y sirven como portadoras de guarda, otras 500 se utilizan como portadoras piloto y las restantes 3500 portadoras son las que transportan los datos. Las portadoras se pueden modular en QPSK (*Quadrature Phase-Shift Keying*) o QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*). Pero lo

que hace única a la tecnología MediaFLO es el empleo de una capa base y una capa mejorada en la modulación de la señal. MediaFLO proporciona flujos de datos separados en dos capas que se pueden emplear indistintamente. La capa base puede transportar la información de un canal de televisión con el vídeo a 15 fps, y la capa mejorada puede hacer lo mismo pero con el vídeo a 30 fps (o 25 fps en PAL). Este sistema permite a los receptores seleccionar qué calidad de señal quieren recibir dependiendo de su capacidad para procesar tasas de transmisión de datos elevadas o bajas. El sistema de modulación por capas permite aumentar el alcance de la señal al posibilitar una disminución en su calidad en caso necesario para que los receptores en el límite de recepción de la señal no pierdan el servicio.

4.4.3. Capacidades del sistema

Se tienen 4000 portadoras activas, de las cuales 3500 transportan datos y 500 sirven como portadora piloto. Si se modulan las portadoras en QPSK, cada una transportará 2 bits, por lo que un *símbolo* en OFDM tiene una capacidad de $3500 \times 2 = 7000$ bits por *símbolo* en OFDM como tasa de transmisión de datos. Con 1200 OFDM *símbolos* transmitidos por segundo (un *superframe* son 1200 *símbolos* por segundo) en una frecuencia de 6 MHz, la tasa de transmisión de datos final será de $1200 \times 7000 = 8,4$ Mbps. MediaFLO (*Media Forward Link Only*) también emplea un sistema de codificación turbo ⁸⁵ obtenido de los sistemas CDMA2000 y EV-DO con especificaciones de $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$ o $\frac{2}{3}$. Si la tasa de codificación es de $\frac{1}{2}$, significa que se puede obtener una tasa de transmisión de datos de 4,2 Mbps en QPSK.

El interfaz MediaFLO permite que cada canal *multicast* (audio, vídeo, subtítulos y datos) acceda desde las capas más bajas del sistema mediante flujos de datos independientes. Los canales *multicast* se generan en la capa MAC (*Media Access Control*) y se comprimen hasta un máximo de tres canales de aplicaciones por MLC (*Multicast Logical Channel*). La información en los MLCs se transporta organizada en grupos de *símbolos*. Esto permite a los receptores descodificar un único *símbolo* para así

⁸⁵ Los turbo códigos son una nueva clase de códigos de corrección de errores (FEC) que fueron introducidos junto con un algoritmo de descodificación. La importancia de los turbo códigos es que permiten una comunicación fiable y su eficiencia energética está muy cerca del límite teórico predicho por Shannon. Desde su introducción, los turbo códigos se han utilizado en aplicaciones de baja potencia, como las comunicaciones por satélite, así como para aplicaciones de interferencia limitada, como los servicios de tercera generación (3G) de comunicaciones móviles.

saber qué *símbolos* y portadoras transportan el canal de vídeo de su interés. El receptor descodifica sólo unos pocos *símbolos* de cada 1200 ahorrándose así mucha energía. Esto también permite el cambio rápido de canal, ya que el receptor sólo tiene que volver a analizar los MLCs buscando el *símbolo* que le interesa y enganchar el nuevo *superframe* que dura un segundo.

Dentro de la interfaz MediaFLO, tiene mucha importancia la información de control. Esta información viaja en la capa MAC (*Media Access Control*) en canales *multicast* de formato especial compuestos de paquetes de control de protocolos (por ejemplo la descripción de la frecuencia y ancho de banda del canal) que constituyen la llamada capa de control.

4.4.4. Transmisión de MediaFLO

Un sistema de transmisión de Media FLO (*Media Forward Link Only*) es muy simple y consta de tres elementos: un modulador, un transmisor y repetidores. En la práctica, también existirá un sistema de monitorización y control

Un modulador MediaFLO podría recibir como señal de entrada dos flujos de datos MPEG-2 en formato ASI (*Asynchronous Serial Interface*) y generar una señal de salida en VHF o UHF modulada en OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). También se requiere un transmisor con la potencia necesaria para transmitir la señal. En el caso de pérdidas de potencia de la señal, se puede recurrir al uso de repetidores para ciertas zonas que operan en SFN (*Single Frequency Network*) y por lo tanto deben estar bien sincronizadas.

4.4.5. Servicio de Guía Electrónica (ESG)

Los servicios MediaFLO (*Media Forward Link Only*) y su información de control son transportados en MLCs (*Multicast Logical Channel*). El servicio de guía electrónica (ESG) de MediaFLO es proporcionado por una aplicación llamada MPG (*MediaFLO Media Presentation Guide*). La MPG gestiona los servicios de un área determinada y los organiza en señales *multiplexadas*, da servicio a los suscriptores y permite ajustar los contenidos a los usuarios según su perfil demográfico.

Tabla 48. Características tecnológicas de MediaFLO.

Servicios	Televisión en directo (QVGA 30 fps), vídeo bajo demanda, datos, servicios interactivos
Canales de vídeo	20-24 (6 MHz)/28-32 (8 MHz) a 30 fps con H.264 y 200 kbps por canal
Codificación de canal	FLO <i>Air Interface</i> con OFDM
Características	Alta calidad. Cambio rápido de canal. Bajo consumo.
Modo de transmisión	<i>Broadcast</i> . Ilimitado. Sistema de acceso condicionado vía suscripción

4.4.6. Implementación del sistema MediaFLO

En los Estados Unidos, el proveedor de los servicios MediaFLO (*Media Forward Link Only*) era FLO TV Inc. El servicio FLO era proporcionado por una red satélite que distribuía canales FLO en una gran superficie a una red de transmisores con diferentes mercados. Hasta diciembre de 2010 hubo dos proveedores de servicio: Verizon Wireless y AT&T. La oferta básica eran 14 canales de televisión por operador en el paquete básico. Ambas compañías empleaban la misma red que era operada por FLO TV Inc. en el canal 55 (716-722 MHz). El servicio era de suscripción y ambos operadores cobraban por ofrecerlo.

El servicio MediaFLO estaba extendido por todo Estados Unidos. Qualcomm realizó pruebas técnicas de MediaFLO a nivel internacional con la intención de formar asociaciones con proveedores de contenido y con operadores de servicios, pero obtuvo resultados irregulares. Se hicieron ensayos en Japón, Hong Kong y Taiwán sin compromiso para una fase comercial. En Francia, Qualcomm trató sin éxito de convencer a TDF para elegir la tecnología MediaFLO.

En 2006, en el Consumer Electronic Show de Las Vegas, LG y Samsung presentaron por primera vez unos dispositivos móviles que incluían tecnología MediaFLO. En diciembre de 2005, Verizon Wireless y Qualcomm anunciaron su asociación para el lanzamiento de la red MediaFLO. Verizon lanzó el servicio al mercado como parte de su oferta VCAST el 1 de marzo de 2007 con el nombre de VCAST TV. AT & T Mobility lanzó a su vez su servicio MediaFLO el 4 de mayo de 2008. A finales de 2009 llegaron los primeros dispositivos de MediaFLO que no eran teléfonos móviles. En noviembre de 2009, FLO TV presentó el dispositivo móvil FLO TV Personal Television (modelo PTV-350).

Foto 35. Modelo PTV-350. Imagen tomada del sitio: Daily Motion.
http://www.dailymotion.com/video/xdy2br_unboxing-flo-tv-personal-television_tech



El 21 de julio de 2010 Qualcomm anunció que planeaba vender su negocio de MediaFLO y su espectro radioeléctrico a menos que encontrase un socio. En ese momento, el servicio daba cobertura a 68 millones de usuarios. Los motivos alegados fueron que el proyecto estaba perdiendo dinero. El 5 de octubre de 2010 Qualcomm señaló el final del servicio FLO TV al declarar que no habría más ventas de dispositivos para los consumidores. El 20 de diciembre de 2010 AT&T anunció que iba a comprar las licencias de la radiofrecuencia de Qualcomm en la banda de 700 MHz y que el servicio FLO TV se cerraría el 27 de marzo de 2011.

4.5. EL ESTÁNDAR ISDB-T 1 SEG

ISDB-T 1 Seg (*Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial 1 Segment*) es un servicio de transmisión de televisión digital terrestre y datos complementarios diseñado para ser captado en dispositivos móviles.

4.5.1. El sistema 1 Seg

One seg o 1 Seg (*One Segment*) es un servicio de transmisión de televisión digital en movilidad por vía terrestre diseñado en Japón que está basado en el sistema ISDB-T (*Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial*) de televisión digital terrestre.

La tecnología de transmisión de televisión digital terrestre ISDB-T de Japón se diseñó

para que cada canal de 5,6 MHz se pudiera dividir en 13 segmentos. La transmisión de señales de televisión convencional en alta definición o definición estándar ocupa 12 de esos segmentos, reservándose el segmento 13 para los servicios de televisión digital en movilidad, de ahí el nombre de 1 Seg.

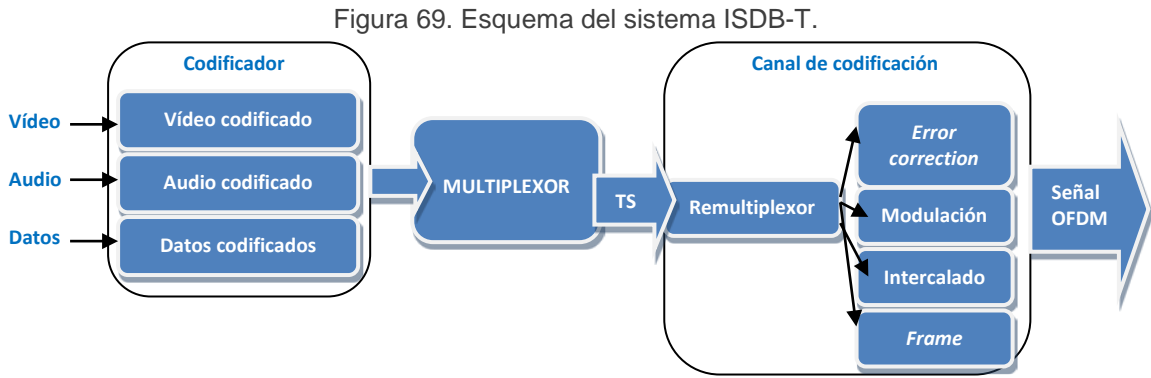
El servicio comenzó sus pruebas en Japón en 2005 y se lanzó comercialmente el 1 de abril de 2006. El primer teléfono móvil con tecnología 1 Seg fue vendido por KDDI en el otoño de 2005.

4.5.2. Características tecnológicas de 1 Seg

El estándar ISDB-T (*Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial*) ha sido adoptado por Japón para la difusión de televisión digital terrestre. ISDB-T emplea una portadora multisegmentada con una técnica de modulación llamada BST-OFDM (*Based Segmented Transmission-Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) que divide cada canal de transmisión de 5,6 MHz de ancho de banda en 13 segmentos. La técnica de modulación y el sistema de corrección de errores pueden ser independientes para cada segmento, y es posible obtener una transmisión jerárquica de hasta tres capas. Además, uno de los segmentos puede ser asignado a servicios de radiodifusión *broadcast* de audio y vídeo en baja resolución para dispositivos móviles.

Una de las características del sistema ISDB-T es que, gracias a las técnicas de intercalado de frecuencia y a la modulación OFDM, es muy resistente a las interferencias por multitrayectoria o *multipath* (que se producen debido a los reflejos de la señal en entornos urbanos con muchos edificios) y a la interferencia de fase propia de las recepciones en dispositivos móviles.

En el sistema de transmisión de ISDB-T, las fuentes de información de audio, vídeo y datos se codifican en MPEG-2 *Video*, MPEG-4/AVC/H.264 y MPEG-2 AAC, entre otros *códecs*, y se *multiplexan* para luego ser transmitidos como señales OFDM a través del canal de codificación. Durante la codificación, el flujo de transporte de datos TS (*Transport Stream*) es *remultiplexado* y sometido a técnicas de corrección de errores, modulación de portadora, intercalado y de estructura del *frame* para crear la señal de transmisión OFDM.



ISDB-T tiene tres modos principales de operación con parámetros diferentes para cada uno. La transmisión a dispositivos móviles corresponde al Modo 3, que emplea un intervalo de guarda de 1/8.

Tabla 49. Parámetros de los modos de transmisión en ISDB-T.

Parámetros de transmisión	Modos de transmisión		
	I	II	III
Número de segmentos	13		
Ancho de banda	5,6 MHz		
Número de portadoras	1405	2809	5617
Número de portadoras por segmento	108	216	432
Método de modulación	QPSK, 16-QAM, 64-QAM, DQPSK		
Intervalo de guarda	$\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{16}$ y $\frac{1}{32}$		
Codificación	Convolucional y Reed-Solomon		

Tabla 50. Tasas de transmisión de datos para ISDB-T Modo 3 con intervalo de guarda de 1/8.

Parámetros de transmisión	Modo 3		
	1 Seg		
Modulación	QPSK		16-QAM
Tasa de codificación	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$
Capacidad de transmisión (kbps)	312,1	416,1	624,1

Tabla 51. Tasas de transmisión de datos para contenido 1 Seg en QPSK 2/3.

Contenido	Tasa de transmisión
Vídeo	244 kbps
Audio	55 kbps
Datos	55 kbps
EPG	20 kbps
Control	37 kbps
TOTAL	416 kbps

4.5.3. Transmisión jerárquica

El sistema ISDB-T (*Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial*) permite establecer tres capas de transmisión jerárquicas. 1 Seg es una capa, pero cuando 1 Seg funciona puede emplear dos o tres capas para su transmisión. La transmisión en dos capas consiste en que un segmento del centro de la banda se asigna a 1 Seg, mientras que los otros doce se asignan a la transmisión a dispositivos fijos. En este caso, el intercalado de frecuencia se da sólo en el segmento asignado y se transmite un indicador de recepción parcial. La señal TMCC (*Transmission and Multiplexing Configuration Control*) se encarga de indicar los parámetros de transmisión de cada capa como el método de modulación, la técnica de corrección de errores, la tasa de transmisión, así como un indicador de que el segmento del centro es de recepción parcial. TMCC es asignado a las portadoras OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) para indicar cuando el segmento central es 1 Seg.

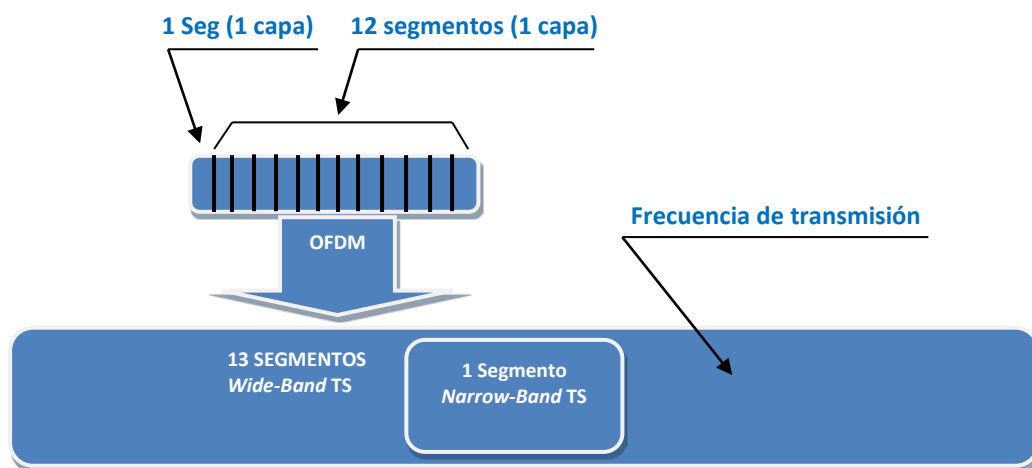
ISDB-T emplea un sistema de *multiplexado* MPEG-2, pero para poder activar la recepción parcial de un sólo segmento debe modificar el *múltiplex*. Lo que se hace es restringir el tiempo de transmisión de los paquetes TS (*Transport Stream Packets* o TSPs) modificando la señal de reloj de referencia de programa PCR (*Program Clock Reference*). La señal PCR se usa para corregir el reloj del sistema del receptor que se emplea para fijar la sincronización de visualización de un programa. En los sistemas MPEG-2, hay un reloj de sistema STC (*System Time Clock*) que emite un pulso de 27 MHz que sirve de referencia entre la estación de transmisión y el receptor. Para conseguir que coincida el STC del receptor con el de la estación de transmisión se añade

un valor de referencia o PCR al *múltiplex* del TS y se envía.

Los *códecs* MPEG-2 *Video*, MPEG-4/AVC/H.264 y MPEG-2 AAC que emplea ISDB-T para la codificación de audio y vídeo están sujetos a métodos de codificación de tamaño variable, lo que hace que el tamaño de la información codificada varíe mucho dependiendo del contenido. En las situaciones en las que la cantidad de información codificada varía, se hace necesario el presentar el vídeo y el audio con la sincronización adecuada, por lo que se añade a los datos de vídeo y audio una PTS (*Presentation Time Stamp*) o una DTS (*Decoding Time Stamp*) que indica al reproductor el STC empleado en el proceso de codificación.

El TS (*Transport Stream*) que se reproduce tras la decodificación de los 13 segmentos de una señal ISDB-T se denomina *Wide-Band TS*, y el TS que se reproduce después de decodificar sólo el segmento central se llama *Narrow-Band TS*. Cuando se transmite un programa con esta técnica conseguimos que un receptor instalado en, por ejemplo, un coche pueda recibir la señal completa con sus 13 segmentos, pero el receptor de, por ejemplo, un teléfono móvil sólo reciba el segmento central (1 Seg) para no afectar mucho a su consumo de batería

Figura 70. Esquema del sistema de transmisión jerárquica en dos capas.



4.5.4. Codificación multimedia

1 Seg emplea el *códec* MPEG-4/AVC/H.264, que es un estándar de codificación de vídeo de amplio espectro que se puede usar tanto para difusión en *broadcast* como para videollamadas o para la transmisión de vídeo por Internet. MPEG-4/AVC/H.264 tiene

cuatro perfiles de uso: el perfil básico es para videollamadas y transmisión a dispositivos móviles, el perfil extendido es para vídeo en *streaming*, el perfil principal es para los contenidos de vídeo agregado, y el perfil alto es para el vídeo profesional de alta calidad. Cada perfil tiene a su vez unas herramientas de codificación definidas: el perfil básico incluye una herramienta de tolerancia al error, el perfil extendido suma herramientas de predicción bidireccional y vídeo entrelazado, además, el perfil principal y el perfil extendido incluyen herramientas de codificación aritmética para una mayor compresión de la imagen, pero eliminan las herramientas de tolerancia al error del perfil básico, y el perfil alto permite la codificación de vídeo con una profundidad de color de 10 bits en 4:2:2.

MPEG-4/AVC/H.264 también define distintos niveles según el tamaño de la resolución. Así tenemos que el nivel 1, por ejemplo, está dedicado a vídeo destinado a dispositivos con pantallas pequeñas (176x144), mientras que el nivel 5 es capaz de gestionar vídeo en alta definición (1920x1080). También tenemos subniveles como el 1.2, por ejemplo, dedicado también a vídeo destinado a dispositivos con pantallas no tan pequeñas (320x240).

4.5.4.1. Codificación de vídeo

1 Seg emplea el *códec* MPEG-4/AVC/H.264 en su perfil básico y nivel 1.2 para la codificación de vídeo, contemplando pantallas con relación de aspecto 4:3 (320x240) y 16:9 (320x180), y con una tasa máxima de 15 fps. 1 Seg incorpora también una tecnología denominada IDR (*Instantaneous Decoding Refresh*) que es un *frame* que comienza la decodificación del vídeo cuando se enciende el decodificador o después de que se cambia de canal, y que tiene un intervalo recomendado de dos segundos siendo cinco segundos el máximo permitido.

4.5.4.2. Codificación de audio

1 Seg emplea el *códec* AAC (*Advanced Audio Coding*) y también el AAC+ SBR (*Spectral Band Replication*) que tienen en cuenta las características de la audición para la codificación y que le permiten transmitir audio de gran calidad con tasas de transmisión de datos muy bajas.

El *códec* AAC puede trabajar con 12 tipos de frecuencias de muestreo diferentes, y

permite la transmisión en mono y hasta en siete canales diferentes. El estándar AAC también permite el balancear la mezcla de la señal multicanal en sólo dos canales a gusto del usuario, e incluso configurar la posición de los altavoces cuando la transmisión es multicanal.

Tabla 52. Parámetros del estándar MPEG-2 AAC.

Frecuencia de muestreo (kHz)	96; 88,2; 64; 48; 44,1; 32; 24; 22,05; 16; 12; 11,025; 8
Número de canales de audio	1 (mono), 2, 3 (3/0), 4 (3/1), 5.1 (3/2 + LFE), 7.1 (5/2 + LFE)

Tabla 53. Parámetros de codificación de audio para ISDB-T.

Codificación	MPEG-2 AAC <i>low complexity profile</i>
Frecuencia de muestreo (kHz)	48; 44,1; 32; 24; 22,05; 16
Número de bits	16 y más
Número de canales de audio	1 (mono), 2, 3 (3/0), 4 (3/1), 5.1 (3/2 + LFE)
Tasa de transmisión de datos	144 kbps en estéreo aprox.

SBR (*Spectral Band Replication*) es una tecnología que expande la banda de reproducción de las señales de audio con bajas tasas de transmisión de datos aumentando así la calidad. Los formatos a los que se aplica la tecnología SBR (AAC+SBR) han sido estandarizados como MPEG-4 audio, pero existe también una estandarización que permite combinar MPEG-2 AAC y SBR. Esta tecnología ha sido muy aplicada en los entornos en movilidad, tanto de vídeo como de distribución musical, ya que ofrece una alta calidad de sonido con tasas de transmisión de datos muy bajas, de en torno a los 64 kbps. AAC+SBR también es conocido como aacPlus y como HE-AAC (*High Efficiency-Advanced Audio Coding*) cuando SBR se aplica a MPEG-4 AAC.

AAC+SBR para 1 Seg emplea una frecuencia de muestreo de 48 kHz y sólo de 24 kHz cuando SBR está activo. Cuando SBR está activo y el dispositivo receptor también tiene tecnología AAC+SBR, éste descodificará la señal completa de 48 kHz en la recepción. Si el receptor no tiene la tecnología AAC+SBR, sólo podrá reproducir la señal de banda estrecha de 24 kHz. Se ha comprobado que la tasa de transmisión de datos más eficaz para el audio AAC+SBR en el sistema 1 Seg es de 48 kbps no obstante, en aras de

facilitar la compatibilidad, se suele emplear una tasa de 64 kbps para audio en estéreo.

Tabla 54. Parámetros de codificación de audio para 1 Seg.

Frecuencia de muestreo (kHz)	48, 24 (cuando SBR está activo)
Número de canales de audio	1 mono y 2 estéreo
Tasa de transmisión de datos	48 kHz: 24-256 kbps (mono), 32-256 kbps (estéreo) 24 kHz: 24-96 kbps (mono), 32-96 kbps (estéreo)

4.5.5. El sistema de transmisión 1 Seg

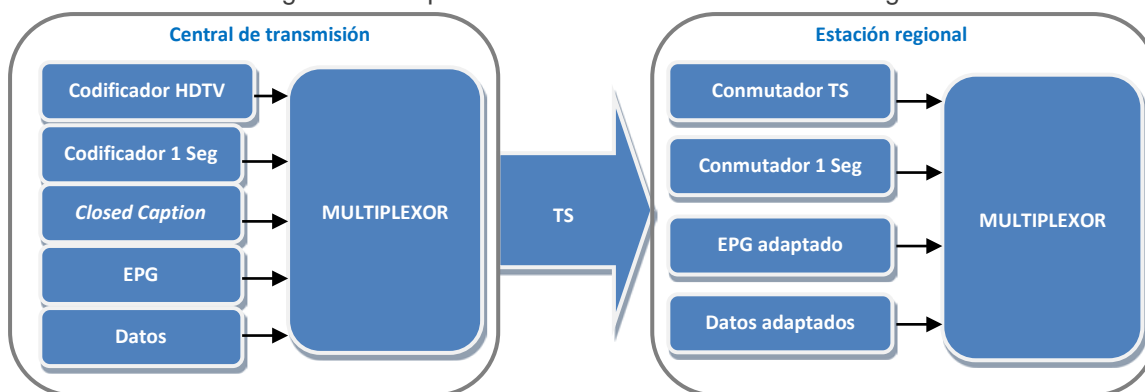
1 Seg se transmite como parte de la radiodifusión del sistema ISDB-T (*Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial*), que suele emplear una central de transmisión y estaciones regionales para poder ofrecer servicios de televisión digital terrestre y en movilidad a nivel nacional.

El sistema ISDB-T se empleó en sus orígenes para ofrecer servicios de televisión en alta definición y su sistema de transmisión se diseñó con ese propósito, teniendo que ser adaptado posteriormente para poder ofrecer también servicios 1 Seg. El primer paso fue añadir la codificación H.264 para el vídeo en baja resolución destinado a los dispositivos móviles. Después, se incluyó tecnología CC (*Closed Caption*⁸⁶), EPG (*Electronic Program Guide*) y de transmisión de datos. Todos estos contenidos luego se *multiplexan* y se transmiten simultáneamente a los usuarios de dispositivos de recepción fijos en alta definición y a los usuarios de dispositivos móviles 1 Seg.

La señal *multiplexada* que envía la central de transmisión se transmite mediante un TS (*Transport Stream*). Las estaciones regionales consisten en estructuras muy simples que se encargan de conmutar el TS para que se adapte de la red general al entorno local de la estación. También modifican el EPG para que se adapte al gusto de los consumidores locales e incluya datos de interés de ámbito local.

⁸⁶ *Closed Caption* (CC), subtítulo oculto o subtítulo no incrustado es un sistema de subtítulos de programas de televisión y vídeos originalmente destinado a personas sordas o con dificultades para captar la señal de audio. Además de texto, signos y símbolos, este sistema incluye música de fondo y efectos de sonido.

Figura 71. Esquema del sistema de transmisión 1 Seg.



4.5.5.1. Recepción parcial y consumo de batería

La tecnología 1 Seg debe de proporcionar medios para reducir el consumo de batería de los dispositivos móviles. En el sistema de radiodifusión ISDB-T (*Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial*), el intercalado de frecuencia para 1 Seg se realiza en un único segmento, y toda la información de 1 Seg se puede obtener recibiendo una parte de la señal OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), la correspondiente al segmento central.

La demodulación de la señal con un bajo consumo energético es posible gracias a que se emplea una frecuencia de muestreo muy baja (1/8 del total de los 13 segmentos), y al empleo de un algoritmo FFT⁸⁷ (*Fast Fourier Transformation*) de tamaño pequeño. Todo esto permite una recepción y reproducción de 1 Seg de hasta cuatro horas seguidas con una batería estándar de 850 mAh.

⁸⁷ FFT (del inglés *Fast Fourier Transform*) es un algoritmo altamente eficiente que permite calcular la Transformada de Fourier Discreta (DFT) y su inversa. La FFT es de gran importancia en una amplia variedad de aplicaciones, desde el tratamiento digital de señales y filtrado digital en general, a la resolución de ecuaciones en derivadas parciales o los algoritmos de multiplicación rápida de grandes enteros. El algoritmo pone algunas limitaciones en la señal y en el espectro resultante. Por ejemplo: la señal de la que se tomaron muestras y que se va a transformar debe consistir de un número de muestras igual a una potencia de dos. La mayoría de los analizadores FFT permiten la transformación de 512, 1024, 2048 o 4096 muestras. El rango de frecuencias cubierto por el análisis FFT depende de la cantidad de muestras recogidas y de la proporción de muestreo. La Transformada Rápida de Fourier es de importancia fundamental en el análisis matemático y ha sido objeto de numerosos estudios. La aparición de un algoritmo eficaz para esta operación fue una piedra angular en la historia de la informática. Las aplicaciones de la Transformada Rápida de Fourier son múltiples. Es la base de muchas operaciones fundamentales del procesamiento de señales, donde tiene amplia utilización.

4.5.6. Televisión en 1 Seg

Debido a que, tanto 1 Seg como los otros 12 segmentos de ISDB-T (*Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial*) transmiten los mismos programas, los dispositivos móviles con receptores 1 Seg pueden visualizar los mismos contenidos que la televisión digital terrestre en alta definición con sus noticias, información meteorológica y todos sus programas. 1 Seg también se diseñó para que sirviera como herramienta de información en el caso de emergencias o desastres. La tecnología CC (*Closed Caption*) permite disfrutar de los servicios 1 Seg incluso en lugares en los que no se puede activar el sonido. Además, gracias al servicio de transmisión de datos, se pueden visualizar noticias y todo tipo de información mientras se ve la televisión.

La tasa de transmisión de datos total de 1 Seg es de 416 kbps, y la tasa dedicada a los datos es de 50-70 kbps. Dependiendo de la recepción, el tiempo requerido por un receptor 1 Seg para adquirir los datos necesarios una vez seleccionado un canal debería ser de cuatro segundos. Cuando los contenidos de datos son muy pesados debido al uso de imágenes, se emplea un sistema en el que el receptor contacta con el servidor de la estación de radiodifusión y se descarga los contenidos de datos mediante una conexión a Internet.

4.5.6.1. Servicio de alerta de emergencias

A finales de 2011, el número de suscriptores vía teléfono móvil al servicio 1 Seg en Japón era de más de 124 millones, más del 90% de la población, lo que hizo que se contemplase la opción de convertir el servicio 1 Seg en un sistema de alerta para emergencias o desastres. Existen terminales 1 Seg conectados a un sistema de servicio de alerta de emergencias que automáticamente dispara alarmas en eventos tales como terremotos o tsunamis, y que proporciona información útil a los usuarios acerca de cómo proceder. Mientras que las redes de comunicación se suelen colapsar en tales ocasiones, el sistema 1 Seg permite enviar información instantáneamente a un amplio número de dispositivos móviles. La desventaja de este servicio es que aumenta el consumo de batería del dispositivo ya que se requiere que siempre esté pendiente de recibir la señal de emergencias.

4.5.7. Implementación del sistema 1 Seg

El estándar de televisión digital en movilidad 1 Seg fue lanzado en Japón en abril de 2006. A principios de 2012 se calculaba que había más de 124 millones de teléfonos móviles con tecnología 1 Seg en circulación, lo que convierte a 1 Seg en uno de los estándares de televisión digital en movilidad con más éxito del mundo.

1 Seg también ha sido adoptado como estándar para la televisión digital en movilidad por Argentina, Brasil, Chile, Uruguay y Perú. En alguno de estos países emplean un sistema 1 Seg modificado con tasas de *frames* de 30 fps, en lugar de los 15 fps que se usan en Japón.

4.6. EL ESTÁNDAR WIMAX

WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access* o Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas) es una norma de transmisión de datos que utiliza las ondas de radio en las frecuencias de 2,3 a 3,5 GHz y que puede tener una cobertura de hasta 48 km. El estándar que define esta tecnología es el IEEE 802.16.

4.6.1. El sistema WiMAX

WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) es un estándar de transmisión de datos en banda ancha que pretende ser una alternativa al cable y a las líneas DSL (*Digital Subscriber Line*). Una de sus ventajas es dar servicios de banda ancha en zonas donde el despliegue de cable o fibra presenta unos costos por usuario muy elevados por la baja densidad de población como en las zonas rurales. El único organismo habilitado para certificar el cumplimiento del estándar y la interoperabilidad entre equipamiento de distintos fabricantes es el Wimax Forum, una organización sin fines de lucro creada para promover la adopción de productos y servicios compatibles con WiMAX.

WiMAX permite la transmisión inalámbrica de datos en áreas de hasta 48 kilómetros de radio con una capacidad de transmisión de datos de hasta 75 Mbps. A diferencia de los sistemas Wi-Fi, que están limitados en la mayoría de las ocasiones a unos 100 metros, WiMAX proporciona una mayor cobertura y con más ancho de banda.

Como se ha visto, la televisión digital en movilidad a través de redes 3G o *wireless* no es más que la distribución de vídeo a dispositivos móviles empleando protocolos de comunicación IP. Desde los orígenes de la televisión digital en movilidad, se ha estado buscando el modo de poder proporcionar servicios de vídeo en *streaming* con seguridad mediante redes *wireless*. Lo que se buscaba era una tecnología capaz de soportar las tasas de transmisión de datos necesarias para el transporte de vídeo (256 kbps aprox.) en un entorno en movilidad variable y con una relación coste-eficiencia mejor que la del sistema 3G. Los primeros ensayos con la tecnología fija WiMAX para proporcionar un servicio de televisión IP *wireless* se encontraron con los problemas habituales en los entornos en movilidad: traspaso de señal, alto consumo energético de los dispositivos receptores e imposibilidad de ajustar la calidad de la señal.

El sistema móvil WiMAX, en cambio, es capaz de proporcionar el mismo servicio de televisión en *streaming* o en *multicast* que el estándar 3G. Incluye también aplicaciones de navegación, juegos y servicios Web 2.0. Permite el traspaso de señal, el *roaming*, e incorpora tecnologías para el ahorro de energía al igual que el sistema 3G. Además, proporciona una tasa de transmisión de datos muy superior a la del 3G, es capaz de adaptar la modulación de la señal a los requerimientos de los receptores, puede emitir en *multicast* para millones de usuarios, se integra perfectamente con el protocolo de comunicación IP sin recurrir a la tecnología 3G y proporciona una gran flexibilidad a la hora de utilizar aplicaciones de Internet.

4.6.2. Características tecnológicas de WiMAX

Existen dos estándares de WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*):

- WiMAX fijo. IEEE 802.16.2004.
- WiMAX móvil. IEEE 802.16c.2005.

WiMAX fijo se emplea con receptores estáticos e itinerantes, y WiMAX móvil se emplea cuando el receptor es móvil, hay necesidad de traspaso de señal y la velocidad de desplazamiento del dispositivo es superior a 120 km/h. El sistema WiMAX emplea la modulación OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) con muchas portadoras, lo que le proporciona una gran robustez de señal. El sistema WiMAX fijo incorpora características como el servicio en movilidad, traspaso de señal, sistemas

avanzados de antena MIMO (*Multiple Input Multiple Output*), *multiplexado* espacial, servicio de encriptación de datos y autenticación, entre otros.

El sistema WiMAX se emplea en configuraciones de comunicación punto a multipunto con una estación base que transmite un enlace descendente en dirección a un número de estaciones suscriptoras. Las transmisiones de las estaciones suscriptoras tienen lugar en sus franjas de tiempo asignadas y son recibidas en la estación base. Las transmisiones en WiMAX móvil tienen lugar empleando varias portadoras, tanto en enlace de bajada como de subida.

La capa física de WiMAX se basa en el empleo de OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) lo que significa que la FFT (*Fast Fourier Transform*) variará dependiendo del ancho de banda. En WiMAX móvil, ésta puede ser de 128 para 1,25 MHz y de hasta 2048 para 20 MHz. Para mantener la interoperabilidad en las estaciones base y los dispositivos móviles, el WiMAX Forum ha dictado una serie de parámetros para todos sus sistemas a los que ha llamado perfiles de certificación. Estos parámetros de certificación indican que el espaciamiento entre portadoras debe de ser de 10,94 kHz y el tamaño del *frame* de 5 ms, lo que implica que el número de portadoras y el tamaño de la FFT varían según el ancho de banda.

La estructura del *frame* en WiMAX móvil ha sido diseñada para ser flexible según el ancho de banda y accesible a todos los terminales, tanto en enlace de subida como de bajada.

En WiMAX móvil, la estructura del *frame* se divide en un *subframe* de bajada y un *subframe* de subida. El *subframe* de bajada comienza con un preámbulo (para la sincronización), seguido de un FCH (*Frame Control Header*) que provee información acerca del esquema de codificación de los mensajes MAP (*Mobile Application Part*) y su duración, así como información de su subcanal. Después viene el mapa del enlace de bajada y el mapa del enlace de subida. Los mapas transportan la información de la estructura del *subframe* que se empleará así como de los espacios de tiempo y subcanales asignados a los terminales. Un subcanal está disponible para que todos los terminales móviles puedan calcular la distancia de recorrido de la señal. Los terminales móviles también pueden emplear esta canal para hacer ajustes en sus consumos

energéticos y solicitar la asignación de un subcanal.

El *subframe* del enlace de subida en WiMAX móvil consiste en pulsos que se originan desde los distintos dispositivos móviles. El *subframe* del enlace de bajada se transmite íntegramente desde la estación base, pero contiene subcanales asignados.

La asignación de subcanales y espacios temporales es muy flexible y puede variar dependiendo del suscriptor del servicio.

Una de las características más novedosas de WiMAX es la posibilidad de generar subcanales, lo que permite a las estaciones móviles el usar sólo el ancho de banda imprescindible.

Los sistemas con modulación OFDM se caracterizan por la transmisión de un *símbolo* OFDM en todas las subportadoras disponibles simultáneamente. Si OFDM está transmitiendo en las 360 subportadoras disponibles, un *símbolo* OFDM que emplee modulación 64-QAM (6 bits/*símbolo*) puede tener $360 \times 6 = 2160$ bits en WiMAX móvil. Si no hubiera modo de subdividir esta capacidad, una estación base o estación móvil tendría que transmitir todo ese bloque de datos cada vez que enlazase. Para aligerar ese proceso se generó la tecnología de subcanalización.

En WiMAX, 16 subcanales están definidos para cada enlace de bajada y subida, lo que significa que un subcanal es el equivalente a $1/16$ de *símbolo* y emplea $512/16 = 32$ subportadoras en un sistema de 512 FFT (*Fast Fourier Transformation*). Las portadoras asignadas se dispersan por el espectro de frecuencia para mantener la resistencia al desvanecimiento. Esta característica de WiMAX, que emplea fracciones de *símbolos* para generar subcanales, permite a las estaciones el transmitir pequeños bloques de datos disminuyendo su impacto en la capacidad del sistema y el consumo energético.

WiMAX móvil emplea un sistema de modulación adaptativa QPSK y 16-QAM. Algunas estaciones también soportan 64-QAM. WiMAX emplea un sistema de modulación adaptativa porque puede cambiar entre *frame* y *frame*. Un dispositivo puede estar operando en 64-QAM y superar el umbral de error pasando a una modulación 16-QAM o QPSK. A mayor densidad en la modulación mayor también la tasa de transmisión de datos, pero una peor tolerancia a las interferencias y al ruido.

Normalmente, la modulación disminuye de nivel a medida que el dispositivo receptor se aleja del transmisor debido a la disminución en la proporción de la relación señal/ruido.

Calcular las tasas de transmisión de datos en WiMAX es muy fácil, ya que el espacio entre subportadoras es fijo y el tiempo del *símbolo* también. Por ejemplo, para un ancho de banda de 5 MHz hay 512 subportadoras de las cuales 36 transportan datos. Si se emplea la modulación 64-QAM (6 bits por *símbolo*) el número de bits que se puede codificar por *símbolo* en OFDM es de $36 \times 6 = 216$ bits. En WiMAX móvil, el *frame* va a 5ms (200 *frames* por segundo) y cada *frame* tiene 48 *símbolos* de los cuales 44 se emplean para datos, por lo tanto la tasa de transmisión de *símbolos* es de $200 \times 44 = 8800$ *símbolos* útiles por segundo. Si cada *símbolo* transporta 216 bits, la tasa de transmisión de datos será de $8800 \times 216 = 19$ Mbps. Si se aplica una FEC (*Forward Error Correction*) de 5/6 la tasa de transmisión de datos final sería de $19 \times 5/6 = 15,4$ Mbps. Aunque todos estos datos no son precisos y sirven solamente como indicativos, ya que no contemplan los posibles huecos en los enlaces de subida y bajada ni el suministro de tráfico.

WiMAX móvil da cinco clases de servicio:

- *Unsolicited Grant Services* (UGS): Diseñado para dar soporte a servicios con tasas de transmisión de datos fijas.
- *Real Time Polling Service* (rtPS): Diseñado para soportar servicios de vídeo con paquetes de datos de tamaño variable como el *streaming*.
- *Non Real Time Polling Service* (nrtPS): Diseñado para soportar aplicaciones donde los retardos generados por el sistema no son críticos, como el FTP (*File Transfer Protocol*).
- *Best Effort services* (BE): Diseñado para soportar servicios sin ningún tipo de garantía como navegar por la web.
- *Extended Real Time-Variable-Rate services* (ERT-VR): Una combinación de UGS y rtPS. Ancho de banda flexible y disponible según la tasa de transmisión de datos necesaria. Diseñado para soportar servicios como VoIP (*Voice over Internet Protocol*). Este es un servicio exclusivo de WiMAX móvil.

WiMAX móvil se basa en el empleo de OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) y puede operar en varias bandas de frecuencia distintas con diferentes anchos de banda que van desde 1,5 MHz a 20 MHz. El número de subportadoras aumenta dependiendo del ancho de banda disponible y, por lo tanto, no hay degradación debido a la interferencia multitrayectoria aunque el ancho de banda aumente hasta los 20 MHz. El WiMAX Forum ha seleccionado una serie de bandas de frecuencia para fomentar la interoperabilidad entre equipos mediante la concesión de certificaciones WiMAX. El WiMAX Forum ha decidido que para la certificación como WiMAX móvil hay que operar en las bandas de frecuencia de 2,3; 2,5; 3,3 y 3,5 GHz, con un ancho de banda de 5; 7; 8,75 y 10 MHz. El WiMAX Forum también ha definido otros parámetros necesarios para obtener la certificación como el número de subportadoras o el intervalo de seguridad.

Los dos factores más importantes que determinan el área de cobertura del sistema WiMAX móvil son la frecuencia operativa y la potencia de la señal transmitida. Las frecuencias altas, como los 5,8 GHz, son apropiadas para entornos con línea de visión directa entre el emisor y el receptor. En el caso de no existir línea de visión directa, una frecuencia de 5,8 GHz podría aún proporcionar un servicio adecuado siempre que la distancia entre emisor y receptor no superase el kilómetro. En los espacios urbanos, WiMAX móvil emplea frecuencias de entre 800 y 2000 MHz y múltiples antenas para reducir los márgenes de pérdida de señal debidos a la reflexión de las ondas en los edificios y objetos.

Uno de los puntos fuertes de WiMAX es que soporta la tecnología *Smart Antenna* y antenas múltiples, lo que ayuda a aumentar el rendimiento de los distintos entornos de transmisión. WiMAX también tiene una alta resistencia a las interferencias y puede decodificar señales a pesar de que las células adyacentes trabajen en la misma frecuencia, lo que aumenta la capacidad de la red.

WiMAX móvil es muy eficaz asignando recursos, tanto para el tráfico de subida como el de bajada. La calidad del servicio está garantizada ya que el acceso al medio inalámbrico está controlado. Es posible apurar la programación al *frame*, tanto en el enlace de subida como en el de bajada, mediante el empleo de mensajes MAP (*Mobile Application Part*) al comienzo de los *frames*, lo que hace que el sistema pueda cambiar

las condiciones de transmisión muy rápido. WiMAX móvil proporciona una señal muy robusta codificada con corrección de errores hacia delante gracias al empleo de un código convolucional. La transmisión se puede adaptar a las condiciones del canal mediante el empleo de subportadoras completas o parciales, haciendo que las subportadoras sean asignadas a un subcanal que puede ser adyacente y con la misma frecuencia o de ubicación aleatoria. El empleo de las técnicas de *Smart Antenna* puede aumentar la tasa de transmisión de datos en momentos puntuales. WiMAX móvil asigna sólo unas pocas subportadoras a las estaciones móviles que van a transmitir, lo que reduce el consumo energético. El traspaso de señal en WiMAX móvil puede ser muy flexible, con cada estación móvil en contacto con varias estaciones base, lo que permite el traspaso sin pérdida de datos o de latencia.

4.6.3. Televisión en WiMAX

Los servicios de televisión digital en movilidad requieren de una tasa de transmisión de datos de 256 kbps, como mínimo, para poder funcionar en un entorno inalámbrico altamente cambiante. Estándares tecnológicos para la transmisión de televisión en movilidad como el 3G poseen las características técnicas mínimas para proporcionar estos servicios con una calidad mediocre. El sistema WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) posee unas características tecnológicas que le permiten transmitir vídeo con una alta calidad de servicio. Además, posee las siguientes ventajas para la difusión de televisión digital en movilidad.

- Altas tasas de transmisión de datos (del orden de entre 3 y 10 Mbps).
- Alta conectividad en cualquier circunstancia.
- Alta resistencia debido al empleo de la *multiplexación* OFDM.
- Calidad de servicio de vídeo garantizada.
- Disponibilidad universal.
- Movilidad incluso a velocidades superiores a 120 km/h.
- Mantenimiento mínimo de los enlaces de acceso.
- Compatibilidad con sistemas basados en protocolos IP.
- Compatibilidad con redes Wi-Fi.
- Interactividad en las dos direcciones.

- Compatibilidad y posibilidad de *roaming* mediante redes 3G.

Las redes WiMAX han sido diseñadas para proporcionar acceso de banda ancha inalámbrico con parámetros de alta calidad de servicio en cada conexión. WiMAX incluso ofrece un tipo de servicio llamado *Real Time Polling Service* (rtPS) diseñado para abastecer paquetes de datos de tamaño variable como los que genera el estándar MPEG. Las redes WiMAX, mediante el empleo de una capa física basada en un sistema altamente eficiente de multipotadoras en OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) que se adaptan a las condiciones de la transmisión para evitar las interferencias, es capaz de proporcionar altas tasas de transmisión de datos. Estas características, combinadas con las de la capa MAC (*Media Access Control*) que establece los tipos de servicio y asegura su fluidez, hacen de WiMAX el entorno idóneo para la transmisión de servicios de audio y vídeo con altas tasas de transmisión de datos y escasa latencia. WiMAX también consigue esquivar los problemas derivados de los entornos de transmisión inalámbricos sin línea de visión directa entre emisor y receptor. Finalmente, WiMAX permite proveer de servicios *broadcast* y *multicast* en los que el vídeo puede ser eficientemente difundido a múltiples receptores inalámbricos empleando sólo una fracción de la capacidad disponible por célula en la banda de frecuencia.

La difusión de televisión en una red WiMAX funciona con los mismos principios que la transmisión de televisión en IP; un número limitado de canales son codificados y enviados como un flujo de datos encriptado a través de un servidor.

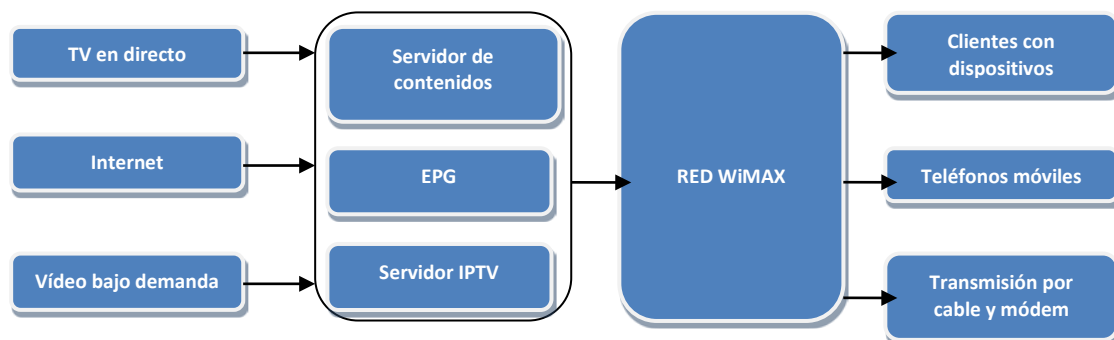
Algunas de las características de WiMAX son:

- Público objetivo segmentado nacional, regional y localmente.
- Soporta vídeo a 50 y 60 fps con resolución VGA y HD.
- EPG y mejor presentación de contenido en directo.
- Buena integración con otras redes basadas en IP como ADSL.
- Alta calidad del servicio.
- Estándar abierto que favorece el desarrollo de nuevos servicios y aplicaciones.
- Alta interactividad con el cliente. Subida de vídeo, fotografías y todo tipo de

contenidos generados por los usuarios.

- Disponibilidad de un gran número de canales, así como contenido a la carta.
- Posibilidad de aprovechar puntos de acceso Wi-Fi.

Figura 72. Esquema del sistema WiMAX.



Un servicio de televisión en red WiMAX incluye los siguientes dos componentes: un conjunto de canales en modo *multicast* que los usuarios pueden elegir ver, y un segundo conjunto de canales con contenidos específicos enviado a sólo unos usuarios determinados en modo *unicast*.

La configuración típica de un servicio de televisión operado en WiMAX incluye tres componentes: Una estación base digital donde se recibe la señal de los canales por satélite y se codifican en MPEG-4, Windows Media, RealVideo o QuickTime combinándolos en un flujo de datos IP de entre 6 y 8 Mbps. Después, el flujo de datos de audio y vídeo es comprimido, encriptado y sometido a un proceso DRM (*Digital Rights Management*) para asegurar que el flujo de datos sólo lo puedan ver los usuarios autorizados. Por último, el flujo de datos se distribuye por la red WiMAX pudiendo llegar a clientes autorizados con dispositivos fijos o móviles.

Figura 73. Esquema de la señal en WiMAX.

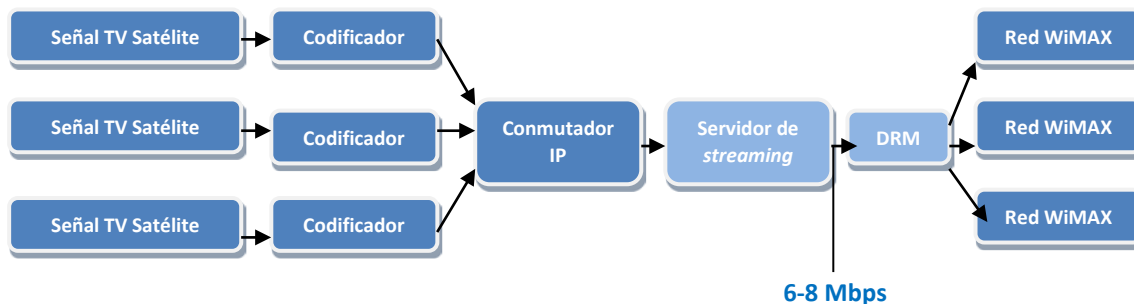


Tabla 55. Características tecnológicas de WiMAX.

Alcance	Hasta 80 km con antenas de alta ganancia
Tasa de transmisión de datos	75 Mbps
Canales	Multitud de canales dependiendo de la legislación local
Ancho de banda	Configurable dependiendo de las necesidades

4.6.4. Receptores y terminales

La disponibilidad de dispositivos capaces de operar en WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) depende de dos factores: la emisión de certificados por parte del WiMAX Forum y la disponibilidad de procesadores capaces de soportar WiMAX. Existen todo tipo de dispositivos móviles con capacidad WiMAX, desde módems por USB a *smartphones*.

4.6.5. WiBro

WiBro (*Wireless Broadband*) es una tecnología de banda ancha móvil de Internet desarrollada por la industria de telecomunicaciones de Corea del Sur. WiBro es también el nombre que se le da en Corea del Sur a los servicios proporcionados por el estándar internacional IEEE 802.16e comercializado internacionalmente con el nombre de Mobile WiMAX o WiMAX móvil.

WiBro emplea tecnología TDD (*Time-Division Duplex*) con modulación OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) de acceso múltiple y un ancho de banda por canal de 8,75 y 10 MHz. WiBro fue diseñado para superar las limitaciones de velocidad de las tecnologías de transmisión de datos de los teléfonos móviles (por ejemplo CDMA 1x) y para agregar movilidad a la Internet de banda ancha (por ejemplo ADSL o LAN inalámbrica). En febrero de 2002, el gobierno de Corea del Sur asignó 100 MHz del espectro radioeléctrico en el intervalo de los 2,3-2,4 GHz para servicios WiBro. A finales de 2004, WiBro *Phase 1* fue estandarizado por el TTA (Telecommunications Technology Association of Korea) de Corea del Sur y, a finales del 2005, la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) reconoció a WiBro con la nomenclatura IEEE 802.16e. El servicio comercial se lanzó en junio de 2006.

La tecnología WiBro proporciona tasas de transmisión de datos de entre 30 y 50 Mbps por portadora y puede cubrir áreas de un radio de entre 1 y 5 km con un repetidor.

Puede proporcionar servicios de Internet móvil a dispositivos que se desplacen hasta a 120 km/h. WiBro también ofrece garantías de calidad de servicio (QoS) para la transmisión de vídeo en movilidad.

4.6.6. Implementación del sistema WiMAX

El único organismo habilitado para certificar el cumplimiento del estándar WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) y la interoperabilidad entre equipamientos de distintos fabricantes es el Wimax Forum, una organización sin fines de lucro creada para promover la adopción de productos y servicios compatibles con WiMAX. Una de las funciones más importantes para esta organización es certificar la interoperabilidad de los productos WiMAX. Los productos que pasan pruebas de conformidad e interoperabilidad logran la designación "WiMAX Forum *Certified*", y pueden mostrar esta marca en sus productos y material de *marketing*. Algunos vendedores afirman que su equipo es "WiMAX-ready", "WiMAX compatible con", o "pre-WiMAX" si no han obtenido el sello WiMAX Forum *Certified*. Otra función del WiMAX Forum es promover la difusión de información sobre WiMAX.

WiMAX se refiere a las implementaciones interoperables de la familia inalámbrica IEEE 802.16 ratificadas por el Foro WiMAX, del mismo modo que Wi-Fi se refiere a las implementaciones interoperables de los estándares inalámbricos LAN IEEE 802.11 certificados por la Wi-Fi Alliance.

Actualmente, existen dos variantes del estándar 802.16:

- Uno de acceso fijo (802.16d) en el que se establece un enlace de radio entre la estación base y un equipo situado en el domicilio del usuario con velocidades de 70 Mbps y un ancho de banda de 20 MHz. Sin embargo, en entornos reales sólo se han conseguido velocidades de 20 Mbps con radios de acción de hasta 6 km, ancho de banda que es compartido por todos los usuarios de la célula.
- Otro de movilidad completa (802.16e) que permite el desplazamiento del usuario y que aún no se encuentra completamente desarrollado pero pretende competir con las tecnologías LTE (3G *Long Term Evolution*).

El estándar original IEEE 802.16 (ahora llamado «Fixed WiMAX») fue lanzado en 2001.

Mobile WiMAX (originalmente basado en IEEE 802.16e-2005) es la revisión que se ha implementado en muchos países.

En Corea de Sur, WiMAX ha adoptado algunas de las tecnologías de WiBro, un servicio exclusivo de Corea del Sur.

WiMAX tiene muchas utilidades, incluyendo conexiones de banda ancha para Internet o televisión en movilidad por IP. WiMAX soporta tecnologías que ofrecen servicios *triple play* (empaquetamiento de servicios y contenidos audiovisuales como voz, banda ancha y televisión).

Los dispositivos que proporcionan conectividad a una red WiMAX se conocen como estaciones de abonado (*Subscriber Stations* o SS). Las unidades portátiles incluyen teléfonos móviles (*smartphones*), periféricos de PC (tarjetas de PC o dispositivos USB) y los dispositivos integrados en los ordenadores portátiles que ahora están disponibles para Wi-Fi. Además, están los dispositivos electrónicos de consumo tales como consolas de juego, reproductores de MP3 y dispositivos similares. El sitio web del WiMAX Forum proporciona una lista de dispositivos certificados.

Los dispositivos *gateway* (puerta de enlace) WiMAX están disponibles tanto en versiones de interior como de exterior y ofrecen:

- Un sistema integrado de punto de acceso Wi-Fi para proporcionar la conectividad de Internet WiMAX a los múltiples dispositivos de la casa o empresa.
- Puertos Ethernet para conectar directamente a un ordenador o DVR (*Digital Video Recorder*).
- Una o dos tomas para teléfonos analógicos de línea fija para así aprovechar el servicio de VoIP.

Un módem externo por USB puede proporcionar conectividad a una red WiMAX a través de lo que se llama un dispositivo de seguridad. En general, estos dispositivos están conectados a un ordenador portátil y, típicamente, tienen antenas

omnidireccionales que son de menor ganancia en comparación con otros dispositivos.

HTC anunció el primer teléfono móvil habilitado para WiMAX, el Max 4G, el 12 de noviembre de 2008. El dispositivo sólo estaba disponible en ciertos mercados de Rusia dentro de la red Yota.

Foto 36. Modelo HTC Max 4G. Imagen tomada del sitio: itechnews.net.
<http://www.itechnews.net/2008/12/12/htc-max-4g-live-shots/>



A finales de 2010, el WiMAX Forum afirmaba tener redes WiMAX desplegadas en más de 148 países, cubriendo más de 621 millones de suscriptores. En febrero de 2011, el WiMAX Forum anunciaba una cobertura de más de 823 millones de personas. Corea del Sur puso en marcha una red WiMAX en el segundo trimestre de 2006. A finales de 2008 había 350 000 suscriptores de WiMAX en Corea del Sur.

A principios de 2010, la expansión de la tecnología WiMAX parecía estar escalando rápidamente en relación con otras tecnologías disponibles, aunque su implementación en Norteamérica ha sido más bien lenta.

4.6.6.1. España

Según el *Informe de cobertura de banda ancha en España* que elabora la Secretaría de Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de la Información, en el primer trimestre de 2015, a nivel nacional, la cobertura conjunta de redes equipadas con WiMAX alcanza al 57,1% de los hogares.

Tabla 56. Porcentaje de población con cobertura WiMAX en España en el primer trimestre de 2015.

Ceuta	0%	Asturias	70,2%
Melilla	0%	Murcia	85,5%
Cantabria	0,1%	Aragón	86,4%
Canarias	0,5%	Navarra	87,6%
Madrid	2,3%	Andalucía	88,6%
Extremadura	2,5%	País Vasco	88,6%
Castilla-La Mancha	20,2%	Castilla y León	89,1%
Comunidad Valenciana	25,9%	La Rioja	91,3%
Galicia	43,7%	Cataluña	96,1%
Islas Baleares	69,9%		

4.7. EL ESTÁNDAR DVB-H

DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*) es un estándar abierto desarrollado por DVB. La tecnología DVB-H constituye una plataforma de difusión IP orientada a terminales portátiles que combina la compresión de vídeo y el sistema de transmisión de DVB-T, el estándar para la TDT (Televisión Digital Terrestre) más utilizado del mundo.

4.7.1. El sistema DVB-H

La tecnología DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*) está diseñada para aprovechar la tecnología de difusión de televisión digital terrestre DVB-T (*Digital Video Broadcasting-Terrestrial*) y emplearla para proporcionar servicios multimedia a dispositivos móviles. DVB-H utiliza el mismo espectro que la televisión digital terrestre y reúne todos los parámetros necesarios para ser un estándar tecnológico de difusión de televisión digital en movilidad:

- Potencial para ofrecer un servicio de difusión a usuarios ilimitados.
- Suficiente potencia de señal como para asegurar la recepción en interiores.
- Sistemas para ahorrar batería en los dispositivos.
- Uso del espectro de difusión terrestre.
- Una codificación robusta con corrección de errores hacia delante para adaptarse a un entorno de transmisión variable.
- Mínima infraestructura necesaria para implementar el servicio. Emplea los

mismos recursos que la tecnología DVB-T.

Un servicio DVB-H puede llevar entre 20 y 40 canales o hasta 11 Mbps en un *múltiplex* que puede llegar a millones de usuarios en modo *broadcast*.

DVB-H puede funcionar con las siguientes opciones de configuración:

- Anchos de banda de 5, 6, 7 y 8 MHz.
- Portadora modulada en COFDM a 2, 4 u 8K.
- Formatos de modulación de 4, 16 y 64-QAM.

La tecnología DVB-H fue estandarizada por la organización DVB y la ETSI (European Telecommunications Standards Institute) en noviembre de 2004 con la denominación EN 302 304. DVB-H está en constante desarrollo, es compatible con DVB-T y basa su red completamente en el modelo de difusión de datos IP.

La difusión de vídeo digital mediante transmisión terrestre está ampliamente extendida y funciona en muchos países. Incluso en países que todavía conservan la televisión analógica, la televisión digital no deja de expandirse reemplazando a las transmisiones analógicas y liberando espacio radioeléctrico. En el mismo ancho de banda donde antes cabía un canal de televisión analógico ahora pueden acomodarse entre 6 y 8 canales en un *múltiplex* de DVB-T. El sistema DVB-T no es adecuado para la transmisión a dispositivos móviles, ya que se diseñó pensando en hogares con grandes antenas y sin problemas de suministro energético. Es por eso que se desarrolló la tecnología DVB-H, para satisfacer la demanda de los usuarios de dispositivos móviles. Otro factor que inclina la balanza hacia la transmisión terrestre es que los servicios de televisión por redes 3G o UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) son en esencia servicios *unicast* y no pueden dar cobertura a grandes masas de usuarios ya que podrían saturar las bandas.

El sistema DVB-H se basa en el protocolo IP. El vídeo es codificado empleando *códecs* altamente eficaces como MPEG-4/AVC/H.264 o VC-1⁸⁸ capaces de proporcionar resolución QVGA con tasas de transmisión de unos 384 kbps. Estos codificadores

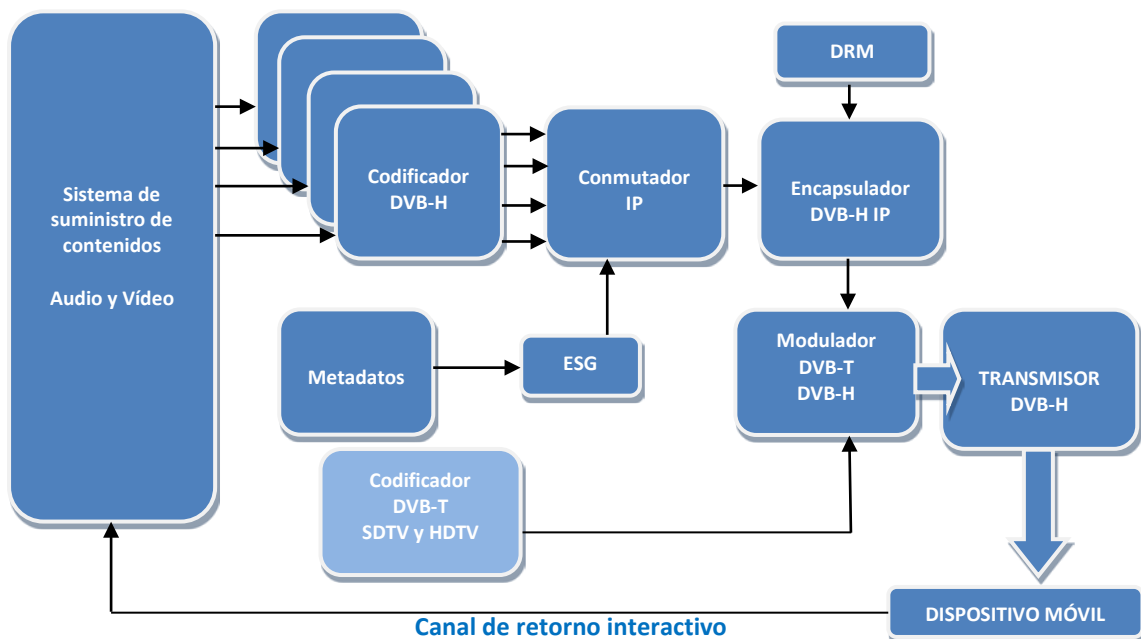
⁸⁸ VC-1 es el nombre informal para el *códec* de vídeo estándar SMPTE 421M. El 3 de abril de 2006 SMPTE anunció la publicación del estándar VC-1 como SMPTE 421M. Su implementación más popular es Windows Media Video 9.

pueden trabajar con señales de televisión en tiempo real y suministrar una señal de salida en IP. La ventaja de trabajar en base IP es que puede funcionar con cualquier formato de audio y vídeo. La resolución y el tamaño del *frame* son decididos por el proveedor del servicio teniendo en cuenta las tasas de transmisión de datos deseadas. Los datos del servicio se transmiten mediante el sistema IP *Datacast*.

Un entorno típico en DVB-H agrupa distintos servicios de audio y vídeo de todo tipo en su sistema de suministro de contenidos. El sistema de suministro de contenidos también puede ofrecer servicios interactivos mediante un canal de retorno. Todos estos servicios son codificados y conectados mediante un encapsulador IP que los combina junto con los servicios ESG (*Electronic Service Guide*) en *frames* IP. También se aplican sistemas de acceso restringido a los contenidos y DRM (*Digital Rights Management*).

No todos los sistemas DVB-H están diseñados para soportar servicios de contenidos interactivos. Algunos están organizados como sistemas de difusión en *broadcast*. También existen diferentes subestándares dependiendo de cómo protejan los contenidos o gestionen los servicios ESG. El encapsulador IP también emplea la tecnología *time-slicing* para que el receptor sólo deba permanecer activo mientras esté recibiendo la información del canal seleccionado.

Figura 74. Esquema del sistema DVB-H.



El encapsulador IP también emplea un sistema avanzado de corrección de errores hacia delante capaz de proporcionar un servicio fiable en un entorno en movilidad. La tasa de transmisión de datos dependerá generalmente del tipo de modulación empleado y del ancho de banda disponible. Generalmente un *múltiplex* DVB-H transportará 11 Mbps de datos que, una vez modulados, podrían generar una portadora de 6-8 MHz, lo que puede parecer poco comparado con los 21 Mbps de un *múltiplex* DVB-T en la banda VHF. Esta alta efectividad en la transmisión de DVB-H se debe al sistema de corrección de errores hacia delante, que permite obtener una señal más robusta para el entorno en movilidad.

La señal de salida del encapsulador IP se modula en COFDM (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) con portadoras de 4 u 8K, lo que proporciona una buena resistencia al desvanecimiento de la señal. El estándar DVB-T emplea portadoras de 2K moduladas en COFDM. DVB-H optó por las portadoras de 4K ya que son más resistentes al desvanecimiento y requieren de un intervalo de seguridad menor entre células cuando funcionan en redes SFN (*Single Frequency Network*). Las portadoras de 4K son las más utilizadas por el estándar DVB-H ya que las de 8K suelen estar demasiado próximas en frecuencia generando problemas de Efecto Doppler con los receptores móviles, aunque también influye la banda de frecuencia que se emplee (UHF o banda L) y la técnica de modulación QPSK, 16-QAM y 64-QAM. En la práctica, el sistema DVB-H generalmente funciona en la banda UHF (700 MHz), los desajustes debidos al Efecto Doppler son insignificantes y permite el empleo de portadoras de 8K. Sin embargo, si se quiere funcionar en la banda L y la banda S, será necesario emplear portadoras de 4 y 2K. El estándar DVB-H emplea un sistema basado en geolocalización GPS para sincronizar todas las transmisiones de una misma área permitiendo que varios repetidores empleen la misma frecuencia. Para la difusión de archivos en modo *broadcast* dentro del sistema DVB-H, se requiere el empleo un protocolo de corrección de errores hacia delante como el sistema FLUTE (*File Delivery over Unidirectional Transport*).

4.7.2. Características tecnológicas de DVB-H

Diseñado sobre los principios de los estándares DVB-T (*Digital Video Broadcasting–Terrestrial*) y DAB (*Digital Audio Broadcasting*), el sistema DVB-H (*Digital Video*

Broadcasting–Handheld) ofrece los requerimientos tecnológicos necesarios para la difusión de televisión digital en movilidad. DVB-H y DVB-T emplean la misma capa física y son compatibles. Al igual que en DVB-T, un servicio DVB-H puede ser transportado por una señal codificada en MPEG-2 y modulada en OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) siempre que la portadora sea de 4K. Un sólo *múltiplex* DVB-H puede acomodar de 20 a 40 canales de audio y vídeo y compartir espacio además con DVB-T, por lo que la tasa de transmisión de datos puede variar entre 5 y 21 Mbps. DVB-H incorpora nuevos aspectos a la tecnología DVB-T para adaptarse al entorno en movilidad como sistemas de ahorro energético, *time-slicing*, mayor robustez de la señal y mejor resistencia a los errores con MPE-FEC (*Multi-Protocol Encapsulation–Forward Error Correction*). Algunas de sus principales características son:

- Codificación de audio, vídeo y datos.
- Sistema IP *Datacasting* para dar servicio de datos a múltiples terminales.
- Organización de los datos en grupos de paquetes para cada canal (*time-slicing*).
- Inserción de datos en la señal DVB-H para su correcta transmisión.
- Incorporación de MPE-FEC (*Multi-Protocol Encapsulation–Forward Error Correction*).
- Sincronización temporal por GPS para redes SFN.
- Modulación QPSK, 16-QAM o 64-QAM para portadores de 4 u 8K en COFDM con intercalado de frecuencia.

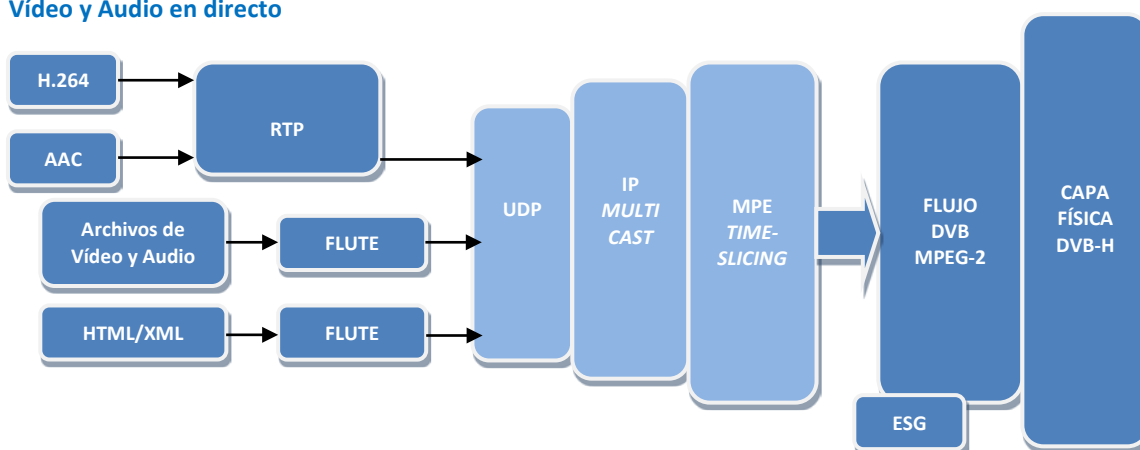
4.7.2.1. DVB-IP Datacast

DVB-H (*Digital Video Broadcasting–Handheld*) se sirve del sistema IP *Datacasting* o IPDC (*Internet Protocol Datacast*) lo que conlleva el empaquetado de datos digitales en paquetes IP y su transporte de manera segura. La plataforma IP puede transmitir vídeo en directo, descargas de vídeo, música, webs y juegos, entre otros. Comparada con una red IP *unicast*, la red *datacast* es mucho más eficiente, ya que puede alcanzar a un número de usuarios ilimitado proporcionando un servicio de alta velocidad. El empleo de tecnología con base IP conlleva la ventaja de que los contenidos de datos se pueden gestionar mediante los mismo protocolos que llevan años funcionando en Internet y que

cuentan con tecnologías y recursos baratos previamente desarrollados. Además, permite transportar indistintamente televisión, archivos de datos, vídeo y audio, entre otros. Existen dos tipos de datos para difundir: los contenidos y los datos de descripción del sistema. Además, se pueden añadir sistemas de DRM (*Digital Rights Management*) y de acceso restringido.

Figura 75. DVB-H IP *Datacasting*.

Vídeo y Audio en directo



4.7.2.2. Time-slicing

Una de las características que distinguen a DVB-H (*Digital Video Broadcasting–Handheld*) de DVB-T es el empleo de la tecnología *time-slicing*. En el sistema DVB-T, los canales son agrupados en un *múltiplex* en el que los paquetes de datos fluyen secuencialmente, lo que deviene en unas altas tasas de transmisión de datos que obligan a los receptores a estar todo el rato activos para no perder ningún paquete de datos. En el sistema DVB-H, el encapsulador IP asigna toda la capacidad del *múltiplex* a un único canal durante un determinado espacio de tiempo, agrupando así todos los paquetes de datos de un sólo canal, lo que permite al receptor del dispositivo en movilidad el estar activo solamente el tiempo necesario para poder recibir los paquetes de datos del canal que le interesa y apagarse el resto del tiempo para ahorrar energía. En términos de tiempo, los datos necesarios para un espacio de entre 1 y 5 segundos se envían en una única andanada (*burst*). Si la capacidad del canal es de 0,5 Mbps, el receptor necesita acumular (*buffering*) 2,5 Mbps de datos para cada 5 segundos de inactividad. O dicho de otro modo, para un servicio de televisión a 25 fps el dispositivo deberá acumular (*buffering*) 125 *frames* de datos. Este proceso es automático y el usuario normalmente

no es consciente de que ocurra. Durante el periodo de inactividad, el receptor puede ir midiendo la fuerza de la señal de los repetidores cercanos y cambiar a uno más adecuado. Además, es posible transmitir información con tecnología *time-slicing* y sin ella en el mismo *múltiplex*.

4.7.2.3. Transmitter Parameter Signaling (TPS) bits

Uno de los problemas que atañen al sistema DVB-H (*Digital Video Broadcasting–Handheld*) tiene que ver con el tiempo que se necesita para cambiar de canal si el receptor permanece desactivado durante largos periodos de tiempo para ahorrar energía. Para reducir el tiempo de búsqueda y poder proporcionar un servicio «*Fast Service Discovery*», los bits de señalización del flujo DVB-T transportan también información acerca del flujo de información DVB-H. La señalización DVB-T consiste en 68 TPS (*Transmitter Parameter Signaling*) bits, de los cuales 23 se emplean para parámetros de DVB-T y el resto transportan información sobre DVB-H siempre que ambos estándares estén empleando el mismo *múltiplex*. Los bits TPS llevan información acerca de si hay un flujo de datos DVB-H en el *múltiplex*, si este es de 4K o de 8K, si hay *time-slicing* o si emplea corrección de errores hacia delante. Los bits TPS ayudan a pasar rápidamente al nuevo canal seleccionado, a las transferencias entre receptores y a que el receptor DVB-H sea consciente del estado de transmisión del flujo de datos.

4.7.2.4. MPE-FEC

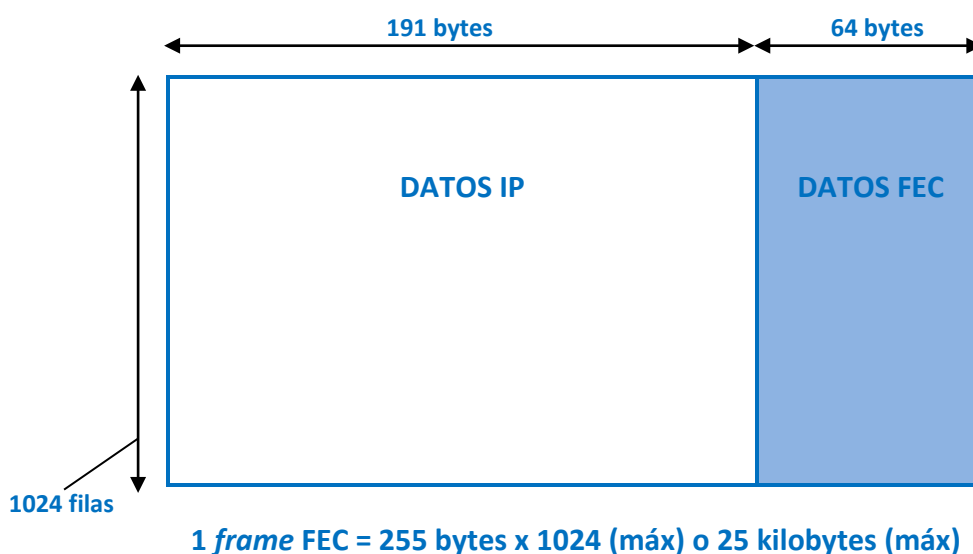
La recepción en dispositivos móviles es diferente a la de las grandes antenas fijas. Las antenas de los dispositivos móviles son pequeñas y tienen poca ganancia. La potencia de la señal fluctúa mucho al estar el dispositivo en movilidad. A pesar de la robustez de la capa física, con su codificación COFDM (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) que atenúa los desvanecimientos, es necesario aplicar un método de corrección de errores hacia delante ya que, al emplear redes de una sola frecuencia (SFNs), los repetidores y las señales reflejadas dificultan mucho la calidad de la recepción.

El audio y el vídeo en DVB-H (*Digital Video Broadcasting–Handheld*) se transportan mediante IP *Datacasting* al igual que en Internet. Sin embargo, el entorno de la radiodifusión no es tan estable como el de Internet, y las señales sufren una gran tasa de errores debido a las variaciones en el nivel de la señal, las interferencias y demás

problemas, lo que requiere que los datos sean protegidos. La protección de los datos se realiza en DVB-H mediante la técnica de corrección de errores hacia delante. El encapsulador IP emplea el sistema MPE-FEC (*Multi-Protocol Encapsulation-Forward Error Correction*), aplicando así la corrección de errores al enlace antes de la encriptación de los datos. DVB-H emplea la capa física de DVB-T con la modulación COFDM que es muy robusta, sumando además MPE-FEC para conseguir así una señal aún más sólida.

Los datos que salen del codificador se colocan en un *frame* FEC, que consiste en 1024 filas con 191 columnas (cada columna es un byte) de datos IP y 64 de datos FEC alcanzando así los 255 bytes. Si un *frame* tiene 1024 filas, contiene 25 kilobytes de datos transmitidos o 1,528 Mb de datos IP o 2,040 Mb de datos transmitidos.

Figura 76. Estructura del *frame* MPE-FEC.



Para un codificador funcionando a 384 kbps (48 kilobytes por segundo), un *frame* FEC puede transportar 3,97 segundos de datos en una sola ráfaga, lo que supone aproximadamente 100 *frames* (en un sistema de 25 fps). El empleo de corrección de errores hacia delante reduce el ruido de la señal facilitando su recepción en dispositivos móviles.

El estándar DVB-H es un sistema de transmisión multimedia que se supone que debe poder abastecer múltiples aplicaciones y formatos de archivo distintos como audio, vídeo en *streaming*, servicio de guía electrónica (ESG) y datos en formato HTML o

XML. Para poder hacerlo, el sistema emplea una estructura de protocolos que le permiten desenvolverse en el entorno del IP *Datacast*. La capa del IP *Datacast* permite que los contenidos de datos sean entregados en forma de paquetes a la red DVB-H. Para ello emplea protocolos UDP/IP (*User Datagram Protocol/Internet Protocol*) y MPE (*Multi-Protocol Encapsulation*). El audio y el vídeo se codifican mediante H.264/AVC generando una señal que es transportada empleando la red y las capas de enlace de datos.

4.7.3. Arquitectura de la red

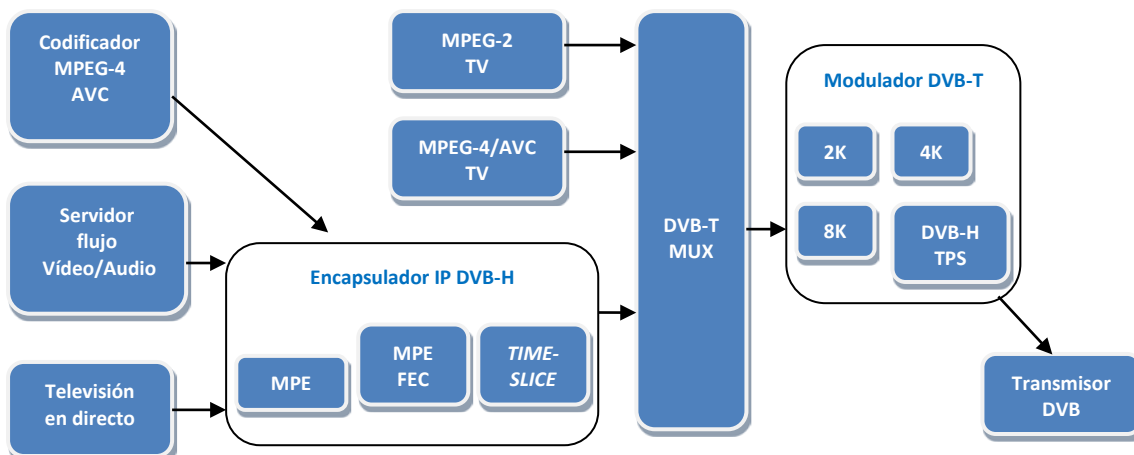
El estándar DVB-H (*Digital Video Broadcasting–Handheld*) ha sido diseñado de modo que permite múltiples y flexibles maneras de difundir vídeo en infinitad de configuraciones, ya sea utilizando las redes existentes para la televisión digital o las nuevas instalaciones que se están desplegando. Hay que tener en cuenta que las transmisiones en DVB-T están diseñadas para grandes antenas situadas en azoteas, mientras que DVB-H necesita poder llegar a antenas pequeñas en un entorno de movilidad. También se requiere que la recepción sea posible dentro de los edificios, por lo que la potencia de la señal que emplea DVB-H es mucho mayor.

4.7.4. Transmisión de señal DVB-H

DVB-H (*Digital Video Broadcasting–Handheld*) se ha diseñado para poder compartir la infraestructura previa creada para DVB-T que se desarrolló para poder implementar la televisión digital terrestre.

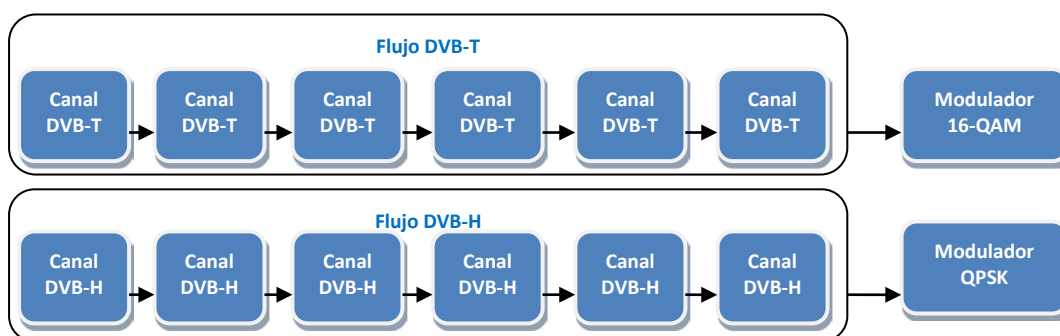
DVB-H puede funcionar con tres configuraciones distintas:

- DVB-H en red compartida (*Multiplex* MPEG-2 compartido). Los canales de televisión, tras pasar por el encapsulador IP, comparten el mismo *multiplex* de DVB-T que otros canales de televisión terrestre. Los canales terrestres estarán codificados en MPEG-2 y los móviles en MPEG-4.

Figura 77. Esquema de configuración DVB-H con *múltiplex* compartido.


- DVB-H en red jerárquica (compartida con DVB-T). En una red jerárquica la señal se modula en dos flujos: uno para DVB-H y otro para DVB-T. DVB-H se modula en un flujo de alta prioridad con QPSK (señal más robusta) y DVB-T en un flujo de baja prioridad con 16-QAM.

Figura 78. Esquema de configuración DVB-H en red jerárquica compartida.



- DVB-H en red dedicada: La portadora de DVB-T se usa exclusivamente para la transmisión DVB-H. Este sistema es el que suelen emplear los operadores nuevos, ya que no suelen tener programación previa de televisión digital terrestre.

4.7.5. Redes de transmisión DVB-H

La recepción de DVB-H (*Digital Video Broadcasting–Handheld*) requiere de una señal de gran potencia que difícilmente se puede lograr con un único transmisor para una gran área urbana. La solución es emplear una red de repetidores de baja potencia para cubrir la ciudad, y es aquí donde el sistema DVB-H se diferencia de DVB-T que emplea

grandes antenas de recepción con línea de visión directa con el transmisor principal. La señal DVB-H debe de ser muy potente, y su distribución es similar a la de la señal GSM (*Global System for Mobile communications*) o 3G, por lo que una red de torres y repetidores es necesaria. El tamaño de célula que estos transmisores generan es grande, y no existen limitaciones en el tamaño de la célula debido al número de usuarios. Dependiendo del área a cubrir, el sistema empleará SFN (*Single Frequency Network*) o MFN (*Multi Frequency Network*).

Se puede dar cobertura a una ciudad pequeña con una sola célula DVB-H compuesta de un transmisor y entre 10 y 20 repetidores. Los repetidores son necesarios para cubrir las áreas de sombra que originan los accidentes del terreno. Un repetidor es esencialmente un minitransmisor con una antena de alta ganancia que recibe la señal del transmisor principal y la retransmite con una potencia aumentada. Debido a las limitaciones de las SFNs (*Single-Frequency Network*), la disposición de los repetidores no puede superar un determinado alcance, ya que el retardo de la señal del transmisor principal podría dar lugar a que la señal retransmitida por los repetidores se encontrase fuera de fase con la señal principal. El número de repetidores de una célula DVB-H viene determinado por la potencia del transmisor principal y la altura de su torre. Cuanto más alta sea la torre menos zonas de sombra y menor número de repetidores necesario.

Áreas grandes, como por ejemplo una ciudad de 50 km de radio, se pueden cubrir empleando SFNs (*Single Frequency Network*). Una SFN comprende un número de células DVB-H cada una con su transmisor y sus repetidores. Los transmisores reciben la señal en forma de flujo MPEG-2 directamente del encapsulador IP.

Se emplea una red IP para distribuir la señal a todos los transmisores de un área determinada. Todos los transmisores reciben la misma señal que se sincroniza mediante un reloj GPS. En cada lugar de transmisión, el modulador COFDM (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) sincroniza la señal empleando la referencia temporal GPS para que todos los transmisores emitan exactamente la misma señal sin importar su ubicación. El número de repetidores de cada transmisor se puede ver incrementado para permitir la recepción en interiores, lo que se llama *dense* SFN.

Cuando el área a cubrir es demasiado grande, por ejemplo un país, enviar una señal

desde un único encapsulador IP a los transmisores no es operativo debido a posibles retardos en la entrega de la señal. En esos casos, los transmisores más alejados emplean frecuencias diferentes. Dependiendo de la topografía, cinco o seis espacios para frecuencias pueden ser necesarios para dar cobertura a un país completo. En esos casos, se suele emplear un satélite para alcanzar a cientos de transmisores a la vez, incluidos aquellos en áreas remotas. Las redes MFN (*Multi Frequency Network*) son más fáciles de implementar, pero requieren una fracción mayor del espectro para funcionar.

4.7.6. Receptores y terminales

DVB-H (*Digital Video Broadcasting–Handheld*) permite la radiodifusión de televisión en directo gracias a tecnologías como la codificación de los contenidos, el IP *Datacasting* y la aplicación de métodos de corrección de errores hacia delante. Sin embargo, debido a que los dispositivos receptores son teléfonos móviles, estos necesitan tener una antena de recepción adecuada para poder recibir la señal. Los descodificadores DVB-H proporcionan un sistema eficiente para recibir televisión en movilidad en dispositivos que ofrecen esa posibilidad, además de los servicios habituales, véase voz y datos basados en redes 3G. Pero DVB-H no es un sistema diseñado para emplear la banda 3G como MBMS (*Multimedia Broadcast Multicast Service*). Los receptores DVB-H están configurados para tener un canal de retorno vía red 2G o 3G, al contrario que los receptores convencionales. Esto significa que los radiodifusores de contenidos pueden tener un control adicional sobre la venta de sus programas, la protección de contenidos y la gestión de derechos digitales. La necesidad de incorporar estas características ha llevado a aproximaciones diferentes en el modo en que se gestiona la protección de contenidos, el canal de retorno y la interactividad. Estas diferentes aproximaciones han quedado reflejadas en los distintos perfiles de implementación de DVB-H y están en vías de converger en un único estándar.

4.7.7. Perfiles de implementación DVB-H

Los estándares DVB-H (*Digital Video Broadcasting–Handheld*) especifican el empleo de IP *Datacast* como el modelo de distribución de contenidos. En esto todas las plataformas DVB-H son idénticas. Sin embargo, lo que diferencia unos estándares de otros es el modo en el que implementan algunos servicios como el canal de retorno

interactivo, la guía de servicios electrónicos (ESG) y la protección de contenidos.

Cuando se implementa un servicio DVB-H, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- El formato y las capacidades concretas de la guía de servicios electrónicos.
- El suministro de contenidos mediante un canal de retorno interactivo.
- La encriptación de los contenidos, así como la gestión de la aplicación de derechos digitales.

El trabajo para estandarizar la implementación de perfiles se está llevando a cabo en varios foros como DVB, OMA y ETSI. Esto ha llevado a la convergencia en torno a dos perfiles:

- IPDC (*Internet Protocol Datacast*): Un estándar DVB destinado a dispositivos desconectados. También es conocido como DVB-CBMS (*Stands for Convergence of Broadcast and Mobile*).
- OMA-BCAST (*Open Mobile Alliance-Mobile Broadcast Services Enabler Suite*): Un estándar abierto de la OMA para IP *Datacast* en cualquier red que permita la conectividad reversa.

Los parámetros del estándar CBMS fueron publicados en 2005. Un grupo de trabajo llamado el DVB-CBMS formalizó los formatos de audio y vídeo, así como la guía de servicios electrónicos (ESG). También proporcionó claves para la protección de servicios y contenidos. Esos estándares fueron renombrados posteriormente como DVB-IPDC. DVB-IPDC emplea la red DVB-H como medio de distribución. Cada canal es distribuido a una franja temporal dentro de un flujo IP. El sistema, para proporcionar contenido interactivo, también emplea un flujo de datos IP para transmitir noticias, información del tiempo, tráfico, y todo tipo de información que puede ser descargada por los usuarios. No hay canal de retorno y la información simplemente se descarga del flujo de datos IP. DVB-IPDC es un sistema de distribución de archivos *multicast*. DVB-CBMS se emplea para distribuir fotos, juegos, texto, tonos y todo tipo de datos.

OMA-BCAST es un estándar para televisión en movilidad independiente de la red de difusión empleada. En principio, OMA-BCAST puede ser empleado con cualquiera de

los sistemas de televisión en movilidad como MBMS, ATSC M/H, DVB-H o 3GPP/3GPP2. OMA-BCAST se basa en unos principios muy simples para definir una metodología común para transmitir contenidos, dar servicios de información y proteger los contenidos. Los contenidos son transportados mediante *streaming* o entrega de archivos (FLUTE). La guía electrónica de servicios (ESG) se genera siguiendo unas especificaciones dictadas por OMA-BCAST. Y la seguridad de los contenidos se basa en especificaciones dictadas por OMA-BCAST.

4.7.8. Guía de Servicio Electrónica

La Guía de Servicio Electrónica (ESG) tiene una implementación diferente según se emplee el sistema DVB-IPDC (*Digital video Broadcasting-Internet Protocol Datacast*) o el OMA-BCAST (*Open Mobile Alliance-Mobile Broadcast Services Enabler Suite*) sobre todo en lo que se refiere al canal de retorno.

En el sistema DVB-H, la ESG está basada en lenguaje XML para poder funcionar con todo tipo de implementaciones y receptores.

En OMA-BCAST, es un sistema basado en suscripciones, se contrata por evento o programa y funciona como *pay per view* por medio de bonos. Una misma ESG puede ser empleada por múltiples operadores.

Por el contrario, la Guía de Servicio Electrónica (ESG) para perfiles CBMS dependerá de las diferencias en la implementación seleccionadas por el operador del servicio.

4.7.9. Seguridad de contenidos

DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*) emplea tres técnicas para proporcionar seguridad de contenidos:

- OSF (*Open Security Framework*). Acceso condicionado al sistema especialmente modificado para el entorno en movilidad, lo que suele dar lugar a dispositivos que funcionan sólo en redes específicas.
- DRM (*Digital Rights Management*). Empleo de mecanismos de encriptación en la transmisión o en los contenidos.
- *Smartcard* de perfil. Se encriptan los contenidos que se difunden y los dispositivos emplean un sistema para identificarse y poder acceder al

servicio.

Los dos últimos métodos permiten una difusión uniforme de la señal y que distintos dispositivos puedan operar en varias redes.

La tecnología DVB-IPDC (*Digital video Broadcasting-Internet Protocol Datacast*) ha sido empleada durante más de dos décadas para la difusión de televisión digital por satélite. Los estándares basados en CBMS (*Standards for Convergence of Broadcast and Mobile*) también concibieron el empleo de sistemas de encriptado para proteger los contenidos y los utilizan dentro del marco OSF (*Open Security Framework*). El inconveniente es que, una vez que el operador elige el sistema de encriptación que va a emplear, los dispositivos de esa red ya no pueden operar en otras negando así la posibilidad del *roaming*.

La tecnología OMA-BCAST (*Open Mobile Alliance-Mobile Broadcast Services Enabler Suite*) emplea múltiples sistemas de encriptación. En sus orígenes, el sistema OMA-BCAST obtenía la protección de contenidos mediante el empleo de DVB-IPDC o DRM. Las nuevas versiones emplean el sistema de tarjetas SIM o *smartcards*. La red de difusión del sistema OMA-BCAST permite la interoperabilidad entre los dispositivos y varios operadores. La red emplea tecnología 3G para tener un canal de retorno y poder ofertar un servicio interactivo. OMA-BCAST es un sistema abierto independientemente de la tecnología de transmisión que utilice, como DVB-H y DMB-T (*Digital Multimedia Broadcasting-Terrestrial*).

4.7.10. Implementación del sistema DVB-H

DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*) fue formalmente adoptado como estándar por la ETSI (EN 302 304) en noviembre de 2004. Desde marzo de 2008, el estándar DVB-H está oficialmente aprobado por la Unión Europea como la "tecnología preferida para la radiodifusión móvil terrestre". El sistema DVB-H ha sido probado con éxito en multitud de países de América, Europa y Asia.

Las primeras redes comerciales en proporcionar servicios DVB-H se implementaron en Italia (La 3) y Finlandia (Digita) con motivo de la Copa del Mundo de la FIFA 2006.

A pesar de la idoneidad de las tecnologías de DVB-H como el IP *Datacasting* o la

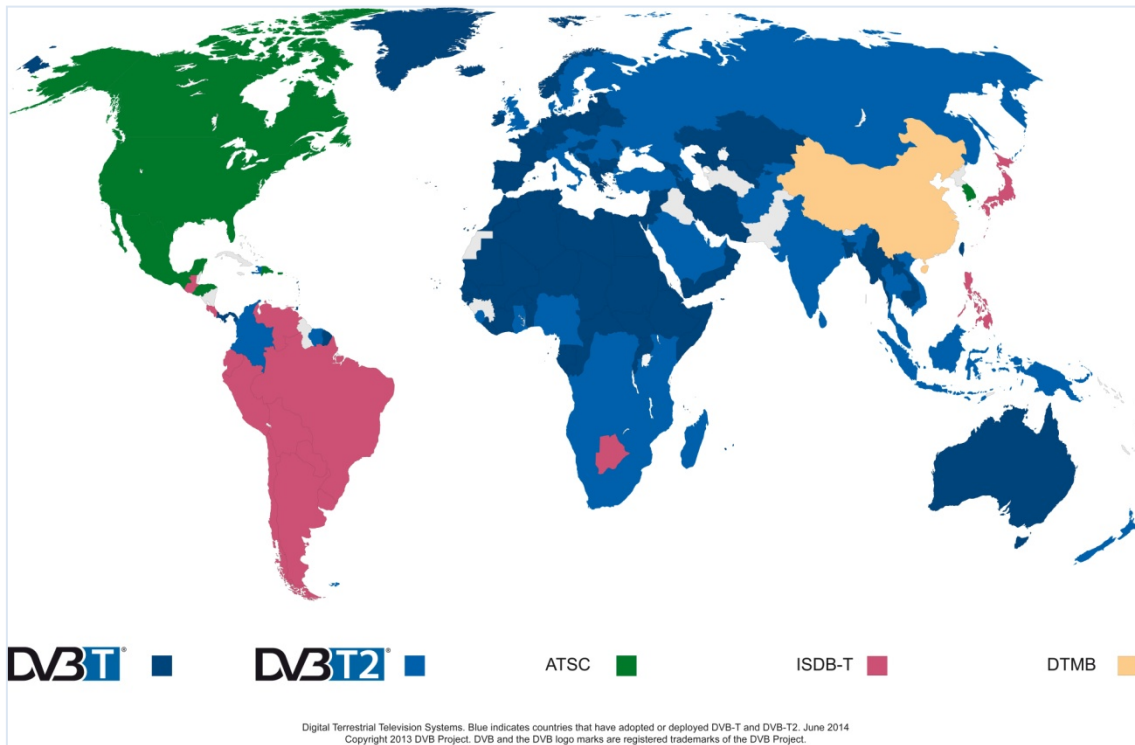
modulación COFDM (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), se considera que el estándar ha fracasado comercialmente debido, según responsables del proyecto DVB, a la escasez de dispositivos disponibles con la tecnología incorporada y a la falta de interés de los productores de contenido, lo que revela una falta de modelo de negocio para la televisión digital en movilidad.

El gran competidor del estándar DVB-H es la tecnología LTE (3G *Long Term Evolution*), que ya está presente en muchos países y que pronto será estándar en todos los *smartphones* que, a través de estas redes, tendrán la capacidad necesaria para recibir televisión móvil en sus dispositivos con una velocidad de descarga muy superior a las obtenidas hasta ahora.

El futuro de la tecnología DVB-H pasa por el desarrollo de DVB-NGH (*Next Generation Handheld*), que pretende mejorar el estándar DVB-H proporcionando una mayor eficiencia espectral y una mejor modulación.

DVB-H es uno de los estándares que promueve el organismo DVB (Digital Video Broadcasting), constituido por más de 270 instituciones y empresas de todo el mundo, y que se encarga de crear y proponer procedimientos de estandarización para la televisión digital. Sus estándares han sido ampliamente aceptados en Europa y casi todos los continentes, con la excepción de Estados Unidos, Canadá y Japón donde coexisten con otros sistemas locales.

Según la web oficial de DVB, existen servicios de televisión que utilizan los estándares DVB en todos los continentes con cerca de mil millones de receptores de DVB desplegados en el mundo. DVB-S y DVB-S2 (tecnologías por satélite) son utilizados en prácticamente todos los países del mundo. DVB-C (tecnología por cable) también se utiliza ampliamente. DVB-T y DVB-T2 (tecnologías de difusión terrestre) se han adoptado o implementado en más de 140 países.

Figura 79. Adopción de los formatos de la televisión digital en el mundo. Fuente www.dvb.org

4.7.10.1. España y el «Dividendo Digital»

El Ministerio de Industria de España tiene congeladas la adjudicación de frecuencias para DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*). La demanda de servicios de difusión *broadcast* de televisión digital en movilidad parece paralizada debido a que las redes 3G de las operadoras han evolucionado rápidamente en los últimos años. Además, las cadenas de televisión tampoco están mostrando interés por explotar estas frecuencias sobre todo porque las operadoras de telefonía ya controlan los contenidos con sus propias infraestructuras. Un servicio DVB-H se tendría que basar en canales de pago y otros gratuitos financiados con publicidad, en lugar de tener que contratar una tarifa de datos, lo que perjudicaría a las operadoras de telefonía.

Desde el comienzo de las emisiones de televisión analógica, se ha utilizado parte de la banda de frecuencias de VHF (47 a 230 MHz) y parte de la banda de UHF (470 a 862 MHz) para su emisión. Con la llegada de las tecnologías digitales, lo que antes se transmitía en seis canales radioeléctricos ahora cabe en un único canal, permitiendo la liberación de parte del espectro. A este excedente de espectro radioeléctrico se le denomina «Dividendo Digital». Tras el cese analógico, se esperaba que el «Dividendo

Digital» se emplease para incrementar los servicios de televisión digital en movilidad como, por ejemplo, adjudicando frecuencias a DVB-H.

La Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones de 2007 convocada por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) decidió la necesidad de alcanzar un consenso general a nivel mundial para disponer de manera urgente de espectro radioeléctrico adicional para redes y servicios de comunicaciones electrónicas, y acordó la atribución al servicio móvil en coprimario con los servicios de radiodifusión de la banda de los 790-862 MHz dentro de la zona europea. Debido a sus propiedades, se considera que la banda de 790-862 MHz es imprescindible para estimular el despliegue de los servicios de nueva generación móviles agrupados bajo las denominadas tecnologías 4G.

El 31 de marzo de 2015 el Ministerio de Industria, Energía y Turismo anunció que el Gobierno de España había finalizado de forma satisfactoria las labores técnicas de apagado de las antiguas frecuencias de televisión en la banda de 800 MHz por mandato europeo.

4.8. EL ESTÁNDAR DVB-SH

DVB-SH (*Digital Video Broadcasting-Satellite Handheld*) es un estándar híbrido satélite-terrestre derivado de DVB-H para la difusión de televisión digital en movilidad.

4.8.1. Sistemas híbridos satélite-terrestre

Las tecnologías para la televisión digital en movilidad de la familia DVB basadas en la difusión por satélite se denominan DVB-SH (*Digital Video Broadcasting-Satellite Handheld*). Siempre ha existido un nicho de mercado para servicios de difusión de televisión en movilidad que puedan funcionar fuera del área de cobertura de las ciudades. El éxito de tecnologías como DMB-S (*Digital Multimedia Broadcasting-Satellite*) ha demostrado la utilidad de los satélites a la hora de proporcionar servicios de televisión en movilidad a grandes masas de tierra. En campo abierto, los dispositivos móviles tienen más facilidad para poder mantener una línea de visión directa con un satélite, al contrario que en las ciudades donde deben usarse repetidores. Los usuarios que emplean sus dispositivos en el exterior suelen demandar servicios GPS y de

navegación, lo que constituye uno de los sectores con más crecimiento en este mercado. Además, los dispositivos que se encuentran en las ciudades también pueden recibir servicios de navegación mediante los repetidores.

4.8.2. El sistema DVB-SH

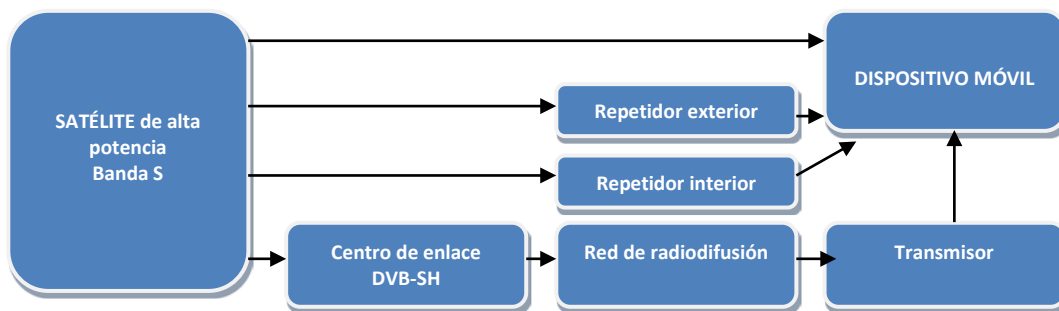
El estándar DVB-SH (*Digital Video Broadcasting-Satellite Handheld*) fue aprobado por DVB en abril de 2007 y también ha sido aprobado por la ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) con las siguientes nomenclaturas:

- ETSI TS 102 585. Especificaciones del sistema para servicios por satélite a dispositivos móviles por debajo de los 3GHz.
- ETSI TS 102 584. Directrices para la implementación de servicios por satélite a dispositivos móviles por debajo de los 3GHz.
- ETSI TS 302 583. Estructura del *frame*, codificación de canales y modulación para servicios por satélite a dispositivos móviles por debajo de los 3GHz.

Las especificaciones de DVB-SH se han formulado para poder establecer dos tipos de sistemas basados en satélite.

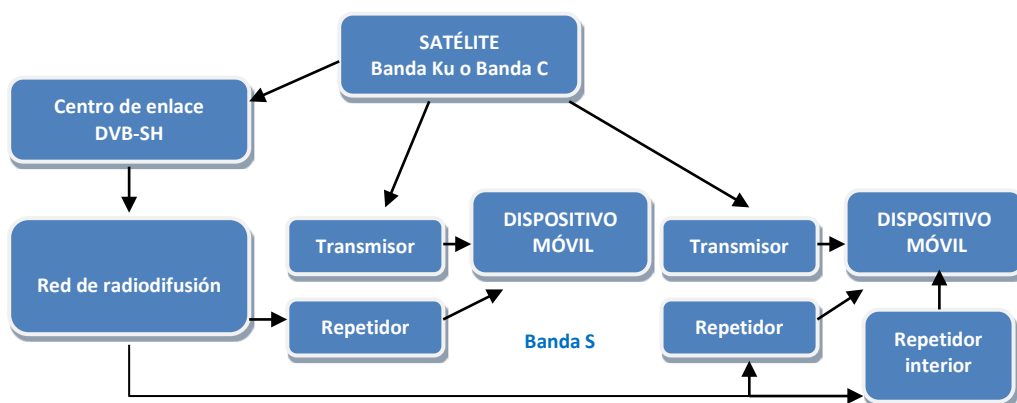
DVB-SH-A. Sistema basado en OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) que emplea la banda S para la transmisión. El primero de los sistemas que se basa en el empleo de la poderosa banda S para la transmisión es capaz de transmitir energía a los dispositivos, emplea tecnología COFDM (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) y tiene mayor resistencia a los errores. En el sistema DVB-SH-A, los repetidores terrestres que reciben la señal del satélite operan de manera sincronizada en una SFN (*Single Frequency Network*). Los elementos esenciales de un sistema DVB-SH-A son un satélite de alta potencia que transmita en la banda S con modulación COFDM y un sistema de repetidores en tierra que cubra las áreas interiores sin línea de visión directa con el satélite.

Figura 80. Esquema del sistema DVB-SH-A.



DVB-SH-B. Sistema que emplea transmisiones por satélite basadas en DVB-S2. DVB también consideró un sistema que no fuera dependiente de las transmisiones de alta energía de la banda S. Este sistema emplea transmisiones DVB-S2 entre el satélite y la tierra que suelen alojarse en la banda Ku. Después, los transmisores terrestres retransmiten la señal en la banda S para los dispositivos móviles.

Figura 81. Esquema del sistema DVB-SH-B.



En el sistema DVB-SH-B, es posible tener receptores que empleen antenas parabólicas para recibir directamente la señal DVB-S2. Este tipo de recepción se puede emplear en muchos tipos de dispositivos móviles como, por ejemplo, en los coches.

4.8.3. Características tecnológicas de DVB-SH

El sistema híbrido DVB-SH (*Digital Video Broadcasting-Satellite Handheld*) considera incorporar un satélite geoestacionario de alta potencia para la cobertura en exteriores, integrado con una red terrestre de repetidores para poder dar cobertura a los interiores

en áreas urbanas.

4.8.3.1. DVB-SH A Ground System

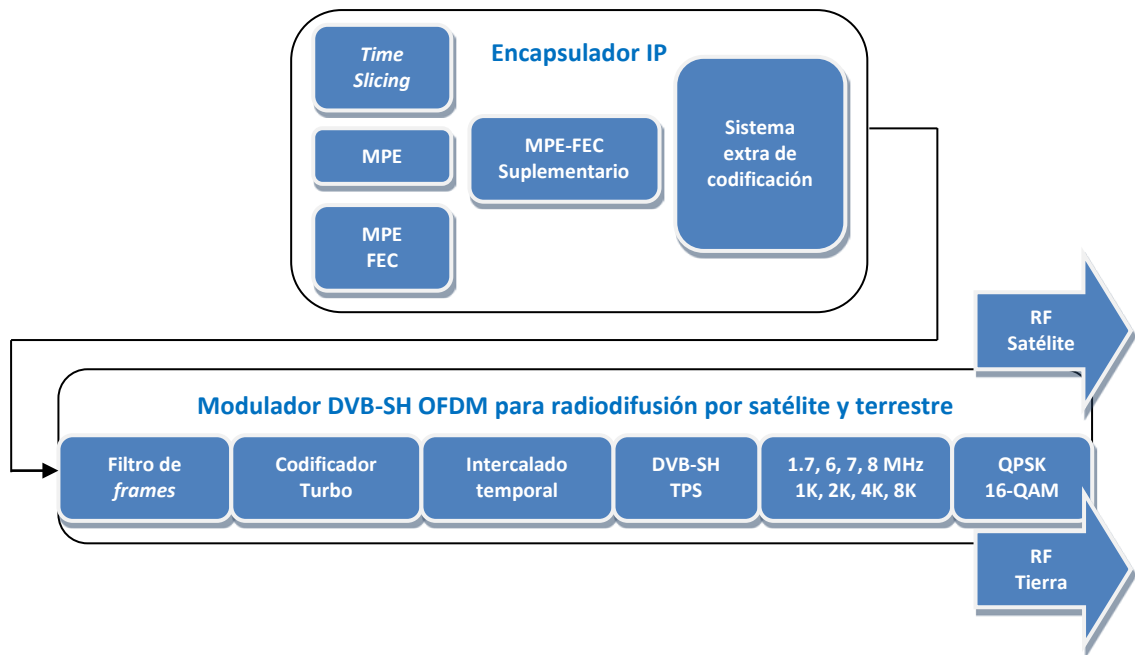
El sistema DVB-SH (*Digital Video Broadcasting-Satellite Handheld*) se basa en transmisiones en la banda S que pueden ser recibidas directamente por dispositivos móviles. El encapsulador y modulador de la señal difiere del empleado por el sistema DVB-H. En el MPE (*Multi-Protocol Encapsulation*), se utiliza un sistema de corrección de errores hacia delante suplementario. El modulador emplea, además, un sistema extra de codificación para aportar la robustez necesaria a la señal, y puede operar en el espectro de los 1,7 MHz propio del sistema DAB (*Digital Audio Broadcasting*), pero en Europa suele funcionar en el de los 5 MHz. El sistema terrestre proporciona a DVB-SH un enlace de subida para su señal y una red de transmisores terrestres.

El modulador DVB-SH COFDM (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) también proporciona una señal con una intercalación en el tiempo muy flexible, capaz de extender los bits sobre muchos *frames*, haciendo así que la señal esté mucho más protegida frente a desvanecimientos por pérdida de la línea de visión directa con el satélite; pero para que funcione, los receptores deben de estar debidamente adaptados. Por eso se definen dos tipos de receptores: los de clase 1, capaces de soportar sólo pequeñas interrupciones en el enlace con el satélite; y los de clase 2, capaces de soportar interrupciones de más de 10 segundos.

Las señales del encapsulador IP llegan a los dos moduladores, uno para la parte del satélite y otro para la parte terrestre. Las claves del sistema son: el satélite, que gracias a la tecnología DVB-SH puede crear una célula de transmisión del tamaño de una nación para dar servicios en movilidad; y el apoyo del componente terrestre, que sirve a las áreas que no cubre el satélite funcionando preferentemente en SFN (*Single Frequency Network*).

También se puede tener un sistema de red terrestre con repetidores que reciban la señal de un satélite y la retransmitan en SFN.

Figura 82. Encapsulación y modulación de la señal en DVB-SH.



4.8.3.2. La capa física de DVB-SH y su capacidad de canales

Las especificaciones de DVB-SH (*Digital Video Broadcasting-Satellite Handheld*) permiten una flexibilidad completa en el diseño del sistema mediante la selección de parámetros como el tamaño de FFT (*Fast Fourier Transform*), el sistema de modulación y la banda guarda para asegurar el equilibrio adecuado entre capacidad de canales, rango de cobertura y calidad de la señal.

- El tamaño del espacio del espectro puede ser 1,7; 5; 6; 7 u 8 MHz para acomodarse a distintos países. La banda de 1,7 MHz emplea el espectro de DAB/DMB. La asignación de bandas de 5 MHz es la más común en Europa.
- El tamaño de FFT puede ser 8K, 4K, 2K y 1K. Cuanto más grande sea el tamaño mayor será la tolerancia a la propagación *multipath* en entornos urbanos. Pero mayores tamaños de FFT suponen menos espacio en la portadora y una posibilidad mayor de que ocurra el Efecto Doppler que aumenta con la frecuencia, haciendo que 2K sea la medida ideal para trabajar en la banda S.
- La banda guarda se emplea entre dos *símbolos* OFDM. Cuando un *símbolo* se desplaza en el tiempo, debido a un mal reflejo en la señal, no se solapa con el siguiente *símbolo* siempre que la banda guarda sea superior al

desplazamiento. Sin embargo, las bandas guarda grandes reducen la capacidad del sistema. Cuanto mayor es la banda guarda mayor es el espacio entre subportadoras. La banda guarda no está vacía, también porta un código cíclico que reduce las interferencias entre *símbolos* adyacentes.

- La tasa de código turbo se aplica en el modulador, puede tener varios valores: $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{2}{5}$, y está especificada en la normativa EN 302 583.
- El sistema de modulación de las subportadoras puede ser QPSK o 16-QAM.
- La transmisión de *frames* en la capa física se organiza en OFDM y cada uno de ellos comprende 68 *símbolos* OFDM. Cuatro *frames* hacen un *superframe*.

Tabla 57. Parámetros de la capa física en el sistema DVB-SH.

Parámetros	Valores			
Ancho de banda del canal	1,7/ 5/6/7/8 MHz			
Intervalo de guarda	¼, 1/8, 1/16, 1/32			
Modulación	QPSK, 16-QAM			
Parámetros para un ancho de banda de 5 MHz y un intervalo de guardia de 1/8				
Modo FFT	8K	4K	2K	1K
Portadoras OFDM	8192	4096	2048	1024
Nº de portadoras moduladas	6817	3409	1705	853
Portadoras útiles	6048	3024	1512	756
Duración del <i>símbolo</i>	1433,6	716,8	358,4	179,2
Intervalo de guardia	179,2	89,6	44,8	22,4
Duración total <i>símbolo</i>	1612,8	806,4	403,2	201,6

También es importante la señalización de los parámetros de transmisión. Al igual que en DVB-H, el sistema DVB-SH necesita indicar al transmisor parámetros como tasas de código, sistema de intercalado empleado, modulación, modo DVB-SH y más. Los bits TPS (*Transmission Parameter Signaling*) comprenden un bloque de 68 bits numerados del 1 al 67 que transmiten 68 *símbolos* OFDM consecutivamente. De los 68 bits, sólo 37 llevan información de señal, el resto son para la sincronización y la redundancia de error.

Tabla 58. *Frame* y tasas de transmisión de datos en DVB-SH-A (banda S de 5 MHz).

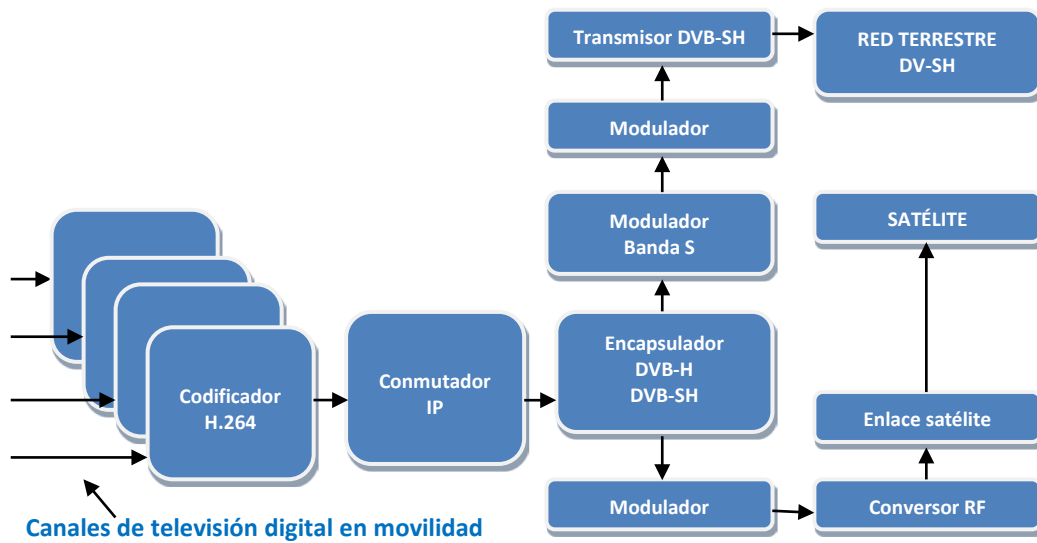
FFT	2K		4K		8K	
Modulación	QPSK	16-QAM	QPSK	16-QAM	QPSK	16-QAM
Tasa por símbolo OFDM bits	3024	6048	6048	12 096	12 096	24 192
Datos por frame OFDM bits	205 632	411 264	411 264	822 528	822 528	1 645 056
Unidades de capacidad por frame	102	204	204	408	408	816
Tasa en bruto (Mbps)	7,5	15	7,5	15	7,5	15

Un sistema DVB-SH, a parte del Encapsulador IP y el modulador para la corrección de errores hacia delante adicional y la diferente codificación, es en esencia un sistema DVB-H. Una configuración típica empleará H.264/AVC para el vídeo, MPEG-4 ACC para el audio y una tasa de bits de unos 300 kbps por canal con resolución QVGA (320x240). Con 300 kbps por canal, un sistema DVB-SH debería poder acomodar entre 8 y 10 canales en su ancho de banda (2,5 Mbps QPSK y 5 Mbps 16-QAM).

Tabla 59. Ejemplo de parámetros de un sistema DVB-SH.

Parámetro	DVB-SH	Parámetro	DVB-SH
Resolución	320x240 (QVGA)	Códec audio	MPEG-4 AAC
Códec vídeo	H.264/AVC	Frecuencia muestreo	24 kHz
Frames por segundo	25 fps	Tasa de bits Audio	32 kbps
Tasa de bits Vídeo	256 kbps	Canales	10
Turbo Codificación	1/3	Intervalo de guardia	1/8

Figura 83. Esquema de la estructura de un sistema DVB-SH.



4.8.4. Características de los satélites

El funcionamiento de un receptor móvil de bolsillo por satélite presenta varios retos que van, desde el movimiento del receptor y la consecuente pérdida de calidad en la recepción de la señal, a la atenuación de la señal debido a la distancia a la que se encuentra el satélite. La solución tecnológica para obtener un enlace por satélite pasa por el empleo de codificación turbo y corrección de errores hacia delante extendida en la encapsulación multiprotocolo (*extended MPE-FEC*). La banda S se emplea, en lugar de la banda C o la Ku, porque tiene pocas pérdidas atmosféricas.

4.8.5. Características de los transmisores terrestres para DVB-SH

En el sistema DVB-SH (*Digital Video Broadcasting-Satellite Handheld*), el encapsulador IP incluye un paquete llamado SHIP (*Satellite Handheld Initialization Packet*), que emplean todos los transmisores para sincronizar su señal. Gracias al paquete SHIP, todos los transmisores en tierra de un sistema DVB-SH operan en sincronismo de *frame* con el satélite. Esto permite que las células operen en SFN (*Single Frequency Network*) con todos los transmisores terrestres funcionando como esclavos de la señal que envía el satélite. Los transmisores terrestres también tienen que compensar los retardos en la señal del satélite.

La red terrestre de un sistema DVB-SH está diseñada para complementar a la red del

satélite y operar en otras redes locales que serían inaccesibles de otro modo. Básicamente, consiste en repetidores para rellenar huecos en la cobertura de la señal.

4.8.6. Receptores y terminales

Hay dos clases de receptores concebidos según las recomendaciones DVB-SH (*Digital Video Broadcasting-Satellite Handheld*) para poder resistir la interrupción de la señal del sistema. Los de la clase 1 pueden resistir breves interrupciones de señal empleando los mecanismos de la capa física. Para interrupciones más largas, se hace necesario emplear protocolos de la segunda capa para reenviar los datos perdidos. Esto se logra proporcionando un intercalador temporal en la capa física y un intercalador temporal mayor en la capa del enlace. El intercalado temporal suele ser de 200 ms para 16-QAM y 300 ms para QPSK. Los de la clase 2 pueden resistir interrupciones de señal de hasta 10 segundos empleando reguladores e intercaladores temporales aún mayores.

4.8.7. Implementación del sistema DVB-SH

Según informa la web oficial de la organización DVB (*Digital Video Broadcasting*), Estados Unidos lanzó en abril de 2008 un satélite geoestacionario con el objetivo de desplegar una red nacional con tecnología DVB-SH capaz de proporcionar servicios de vídeo, navegación y mensajería de emergencia. Actualmente está en pruebas. En Europa, los primeros ensayos técnicos de DVB-SH se han completado con éxito. La Comisión Europea aprobó en diciembre de 2006 que una franja del espectro de la banda S se dedicara a servicios en movilidad por satélite con sus componentes terrestres necesarios para crear un sistema híbrido. En abril de 2009, se lanzó un satélite dirigido a seis grandes países europeos. Las autoridades reguladoras de Francia están considerando la viabilidad de adoptar un sistema de servicios de televisión en movilidad empleando una combinación de DVB-H y DVB-SH, con el uso de DVB-SH en la banda UHF.

ICO Global Communications (actualmente Pendrell Corporation), uno de los mayores operadores de satélite de los Estados Unidos, anunció en 2007 el despliegue a nivel nacional de una red híbrida satélite/terrestre en DVB-SH en colaboración con las compañías Alcatel-Lucent y Expway. El satélite ICO G1 fue lanzado el 14 de abril de 2008 convirtiéndose en el primer satélite DVB-SH del mundo en órbita.

Foto 37. Representación del satélite ICO G1. Imagen tomada del sitio: NAB.org.
http://www.nab.org/xert/scitech/2008/TV_TechCheck/tv/tv051208.asp



Las empresas Eutelsat y SES (unidas como Solaris Mobile y, posteriormente, como Echo Star Mobile) lanzaron el 3 de abril de 2009 el satélite W2A con el objetivo de dar servicios basados en tecnología DVB-SH a Europa Occidental. Problemas técnicos impidieron a Solaris Mobile dar todos los servicios que tenía previsto ofrecer.

Ensayos con tecnología DVB-SH han sido realizados en muchos países y ciudades: Irlanda, Reino Unido, Malasia, Singapur, Helsinki, Berlín, Cambridge, Pittsburgh, París, Teherán, Madrid, Barcelona, Sídney, Sudáfrica, Taiwán, La Haya, Bruselas, Berna, Viena, Nueva Zelanda, Filipinas, Copenhague, Budapest, Sri Lanka y la India, entre otros.

En Francia, SFR y Alcatel-Lucent se unieron para hacer pruebas con una red DVB-SH. Los resultados mostraron que la tecnología DVB-SH ofrecía mejores resultados que la DVB-H y conllevaba un menor coste a la hora de desplegar una red.

CAPÍTULO 5. ESTUDIO COMPARATIVO Y PROSPECTIVA DE LA TELEVISIÓN DIGITAL EN MOVILIDAD

«No estaba prediciendo el futuro, estaba intentando prevenirlo».

Ray Bradbury

5.1. PRESENTACIÓN DEL TRABAJO

El trabajo que presentamos a continuación constituye la principal aportación de esta tesis doctoral. En los capítulos precedentes hemos analizado las tecnologías para la televisión digital en movilidad. En este capítulo haremos un estudio con el fin de obtener una prospectiva desde una base tecnológica de la implantación de estas tecnologías en el futuro.

En los dos siguientes apartados de este capítulo se recoge el objetivo del estudio y la metodología de trabajo. A continuación, revisamos el estado de la implantación de las tecnologías para la televisión digital en movilidad, sus retos y posibles modelos de negocio, además de repasar las principales características tecnológicas de las tecnologías de la primera generación e introducir a las tecnologías de la segunda generación que se están implementando en este momento.

Por último, se desarrolla el trabajo propiamente dicho que consiste en un análisis y un estudio comparativo de las tecnologías para la televisión digital en movilidad que hemos estimado más representativas.

Finalmente, se exponen los resultados y conclusiones obtenidos del trabajo.

5.1.1. Objetivo del estudio

El objetivo de esta tesis es describir y analizar las tecnologías para la televisión digital en movilidad, aportar un análisis histórico de su evolución tecnológica, establecer los medios técnicos que emplean, así como los casos de éxito y fracaso en la implementación de estas tecnologías. Además, se pretende realizar un estudio de

prospectiva de base tecnológica que arroje algo de luz sobre el futuro de las tecnologías para la televisión digital en movilidad.

5.1.2. Metodología del trabajo

El primer paso que hemos dado en este trabajo ha sido el situar a la televisión digital en movilidad en el contexto de la evolución de las técnicas de difusión de la televisión, ofreciendo una retrospectiva de las tecnologías de la televisión, sus vías de difusión y los cambios en el sector televisivo que introduce la televisión digital en movilidad, así como su estado de implantación inicial en el mundo.

El segundo paso ha consistido en establecer cómo han evolucionado las distintas tecnologías que han permitido el desarrollo de la televisión digital en movilidad, focalizando la atención en las tecnologías para la multimedia digital y en las tecnologías para la telefonía móvil, que son las que más han influido en el desarrollo de los distintos estándares para la implantación de la televisión digital en movilidad.

El tercer paso ha conllevado la identificación de las tecnologías propias para la televisión digital en movilidad y su análisis, centrándonos tanto en el ámbito de la difusión, como en el de la recepción y en la configuración tecnológica de los dispositivos móviles con capacidad para recibir televisión digital en movilidad.

En el cuarto paso analizábamos cada uno de los ocho principales estándares tecnológicos para la televisión digital en movilidad que se han desarrollado en los distintos territorios del mundo, las tecnologías que emplean y su estado de implantación.

Por último, en el quinto paso, que desarrollamos en el presente capítulo, comenzamos haciendo un repaso al estado de implantación de las tecnologías para la televisión digital en movilidad de la primera generación, y planteamos los nuevos retos a los que se van a enfrentar las tecnologías de la segunda generación que se están desarrollando en este momento, así como los posibles modelos de negocio para el futuro. A continuación, presentamos los estándares tecnológicos para la televisión digital en movilidad de la segunda generación. Después, identificamos las principales características tecnológicas de cada estándar de la primera generación en una tabla y los sometemos al análisis por el método DAFO en un esfuerzo por identificar las Debilidades, Amenazas, Fortalezas y

Oportunidades de cada uno de ellos, para así poder elaborar una tabla en la que comparar sus ventajas y desventajas. Acto seguido, elaboramos una nueva tabla que identifica las principales características tecnológicas que conocemos, a día de hoy, de los estándares de la segunda generación que se están desarrollando y los sometemos también al análisis por el método DAFO para exponer en una tabla sus ventajas y desventajas. Finalmente, comparamos las dos tablas que hemos obtenido tras someter a los estándares de la primera generación y la segunda generación al análisis por el método DAFO.

Gracias a que actualmente conocemos los resultados de éxito o fracaso de la implantación de los estándares tecnológicos para la televisión digital en movilidad de la primera generación, podemos estimar si sus ventajas y desventajas tecnológicas resultaron determinantes para su éxito o si, por el contrario, existieron otros factores de carácter externo que permitieron el éxito o precipitaron el fracaso de estos estándares tecnológicos.

Los datos obtenidos del análisis DAFO de los estándares tecnológicos de la primera y segunda generación y su comparativa nos servirán para elaborar un modelo comparativo propio que esperamos sea más eficaz a la hora de determinar las ventajas y desventajas tecnológicas para la implantación de los estándares de la segunda generación que se están desarrollando en este momento.

Mediante nuestro modelo comparativo, identificamos factores críticos externos que afectan a la implantación de las tecnologías para la televisión digital en movilidad, así como los principales factores internos en los que se han mejorado las tecnologías de la segunda generación, lo que nos sirve para establecer las conclusiones finales del trabajo y plantear una prospectiva del desarrollo e implantación en el futuro de las tecnologías para la televisión digital en movilidad.

5.2. ESTADO DE LA CUESTIÓN: IMPLANTACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS PARA LA TELEVISIÓN DIGITAL EN MOVILIDAD

Las comunicaciones inalámbricas móviles han experimentado un crecimiento

exponencial en la última década y están en constante evolución debido a una cada vez mayor demanda de contenidos por parte de los usuarios. Los servicios de multimedia masivos se han desarrollado en los últimos años con el objetivo de alcanzar a una gran cantidad de público, generan hoy una ingente cantidad de tráfico de datos en las redes móviles y se espera que este tráfico aumente aún más en el futuro. El servicio más representativo de la multimedia de masas es la televisión digital en movilidad, que se supone que va a ofrecer muchas oportunidades comerciales en el futuro.

Tradicionalmente, los dispositivos de comunicación móvil se han centrado en la transmisión de datos destinada a un único usuario empleando la difusión por ondas radioeléctricas, no en la difusión de contenidos populares a un gran número de usuarios simultáneamente. Por eso, los teléfonos móviles fueron diseñados para la transmisión de contenidos a usuarios individuales por el método *unicast* empleando una conexión punto a punto. El principal inconveniente de los sistemas *unicast* es que los recursos de este tipo de redes son limitados, lo que se manifiesta cuando varios usuarios quieren acceder al mismo contenido al mismo tiempo, obligando a reducir el número máximo de dispositivos móviles que puede soportar una red *unicast*. Pero los sistemas *unicast* pueden soportar un abanico mucho más amplio de servicios ya que, como cada conexión está destinada a un usuario concreto, se pueden optimizar los parámetros de transmisión individualmente y emplear los recursos necesarios para la transmisión sólo cuando el usuario está usando el servicio.

Los sistemas de transmisión *multicast* y *broadcast* fueron diseñados para poder llegar a un gran número de usuarios que consumieran los mismos contenidos simultáneamente, empleando conexiones radioeléctricas punto a multipunto que permiten un número ilimitado de usuarios para un área determinada. La desventaja de los sistemas *multicast* y *broadcast* estriba en que no permiten ajustar los parámetros de la transmisión para usuarios específicos y que las transmisiones tienen que estar diseñadas pensando en todos los usuarios, esto es, con la máxima calidad que permita el usuario con el equipo menos avanzado.

Las tecnologías de difusión móvil se han desarrollado en los últimos años en torno a estos dos sistemas de transmisión, siempre con el objetivo de llevar los servicios multimedia masivos a la mayor cantidad de público posible. Entre los servicios

multimedia masivos destaca la televisión digital en movilidad. Sin embargo, la implantación de los servicios de televisión digital en movilidad no ha cumplido con sus expectativas iniciales debido, en parte, a la falta de un modelo de negocio adecuado y al alto coste asociado al desarrollo de nuevas redes de difusión móvil. En consecuencia, muchos países todavía no tienen servicios de televisión digital en movilidad, o han sido testigos de cómo estos servicios eran lanzados al mercado y luego desaparecían tras un tiempo.

Una de las primeras tecnologías empleadas con éxito para la difusión de multimedia en movilidad fueron las de la telefonía móvil 3G, que estaba limitada a las conexiones *unicast* hasta que la aparición de la tecnología MBMS (*Multimedia Broadcast Multicast Service*) permitió las conexiones radioeléctricas punto a multipunto en las redes 3G, lo que otorgó a las operadoras 3G la capacidad de ofertar servicios de transmisión de multimedia en *multicast*. Sin embargo, el problema se planteaba de nuevo porque la transmisión *multicast* limita en gran medida la capacidad de las redes de telefonía móvil para facilitar sus servicios tradicionales como transmisión de voz, mensajería y datos. La tecnología MBMS no ha sido lanzada comercialmente todavía y desde su aparición en la 3G *release* 6 ha estado en constante desarrollo.

Las nuevas redes de difusión de televisión digital por vía terrestre específicamente diseñadas para dar servicios de televisión en movilidad mostraron todavía más potencial que las redes 3G para la difusión de multimedia en movilidad. Estas nuevas tecnologías se aprovecharon, en muchos casos, de las infraestructuras de los sistemas de televisión digital terrestre que ya existían, con sus grandes antenas, sus señales de alta potencia, sus redes de distribución y lo más valioso de todo: sus licencias para el uso del espectro radioeléctrico en las bandas VHF y UHF. Además, las redes de difusión de televisión digital terrestre empleaban tecnología SFN (*Single Frequency Network*), con todos los transmisores y receptores operando en la misma frecuencia, lo que les dotaba de mucho más eficiencia espectral y alcance que las redes MFN (*Multi Frequency Network*).

Para completar a estas tecnologías de difusión para la televisión digital en movilidad, se desarrollaron componentes que complementaban a las tecnologías de transmisión *broadcast* punto a multipunto añadiendo la capacidad de comunicación bidireccional,

mediante la aplicación de tecnologías de la telefonía móvil, que buscaban el añadir el componente de interactividad al servicio. Así se combinaban las fortalezas de los sistemas *broadcast* para transmitir contenidos multimedia de manera eficiente, con la capacidad de interacción y personalización de los servicios que ofrecen las redes de telefonía móvil con sistema *unicast*. Pero esta convergencia nunca se materializó realmente y las redes *broadcast* de televisión digital y las redes de telefonía móvil *unicast* siguieron funcionando por separado, independientes la una de la otra. Los únicos dispositivos que vieron una convergencia real del servicio fueron aquellos que podían acceder a los dos tipos de redes y sistemas de transmisión simultáneamente, y entre esos dispositivos destacaba el teléfono móvil.

La tecnología para la televisión digital en movilidad más relevante de Europa ha sido DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*). Después de un tímido arranque, y tras recibir el apoyo de la Comisión Europea, varias redes DVB-H fueron desplegadas en Europa. Italia fue el primer país en lanzar servicios comerciales DVB-H en el año 2006 y le siguieron Finlandia, Suiza, Austria, los Países Bajos, Hungría y Albania. Todos estos servicios han ido desapareciendo paulatinamente.

Algo parecido ha ocurrido en los Estados Unidos con la tecnología MediaFLO (*Media Forward Link Only*), que experimentó un desarrollo inicial similar al de DVB-H y que ha acabado desapareciendo.

Parte del motivo del fracaso de estos dos sistemas estriba en que se asumió que la demanda del mercado de servicios de televisión digital en movilidad sería suficiente para rentabilizar el coste de la inversión necesaria para implantar las redes de difusión de DVB-H y MediaFLO, lo que resultó no ser cierto. Además, los consumidores no estaban dispuestos a pagar una cuota mensual por servicios de televisión digital en movilidad, y la demanda no fue lo suficientemente alta como para amortizar los costes de construcción y de operación de las redes de difusión. Otro motivo para el fracaso de estos dos sistemas habría que atribuirlo a que nunca hubo en el mercado un número importante de dispositivos capaces de recibir estas señales, y a que la oferta de dispositivos con capacidades DVB-H o MediaFLO era muy limitada y no del gusto de los consumidores. Por último, nunca llegó a existir un marco regulador que obligase a todos los actores implicados en esta cadena de servicios (los operadores de señal de

televisión, los operadores de señal de telefonía móvil, los fabricantes de dispositivos, los generadores de contenidos, los organismos reguladores, etc.) a trabajar juntos.

Pero existen casos de éxito en la implantación de algunas de las tecnologías para la televisión digital en movilidad de la primera generación: los sistemas ISDB-T (*Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial*) en Japón y T-DMB (*Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting*) en Corea del Sur. Aunque hay que señalar que, en ambos casos, los servicios de televisión digital en movilidad fueron demandados por los gobiernos de estos países y ambas redes, a día de hoy, todavía no son rentables. Estos dos sistemas proporcionan un servicio gratuito en Japón y Corea del Sur y reciben beneficios por la inserción de publicidad en los contenidos, pero no los suficientes como para compensar los costes de mantenimiento de sus redes. En el caso de la tecnología ISDB-T, los servicios de televisión digital en movilidad son proporcionados empleando una pequeña parte (1 Seg) de la misma banda de frecuencias que emplea el servicio de televisión digital terrestre, por lo que el sistema no requiere de la instalación de una red dedicada al servicio de televisión digital en movilidad en exclusiva.

Hoy en día, podemos observar que existe de nuevo interés en las tecnologías para la televisión digital en movilidad. Y este renovado interés se debe principalmente a la aparición de dos nuevos dispositivos móviles: los *smartphones* y las *tablets*. Estos nuevos dispositivos móviles disponen de grandes pantallas que resultan cómodas para visionar vídeo en movilidad, y su conexión 3G les permite disfrutar de nuevas aplicaciones basadas en contenidos multimedia que les proporcionan un sinfín de nuevos servicios con posibilidades de interactividad. El problema surge ahora porque las redes 3G nunca fueron pensadas para soportar servicios multimedia masivos, y los pesados contenidos de vídeo ya han comenzado a colapsarlas. A pesar de que las nuevas redes móviles LTE (3G *Long Term Evolution*) ya han comenzado a implantarse en el mundo con sus prestaciones aumentadas, la atención se enfoca de nuevo hacia las tecnologías específicas para la difusión de televisión digital en movilidad.

Es en este contexto en el que una segunda generación de tecnologías para la difusión de la televisión digital en movilidad se ha desarrollado, incorporando los últimos avances en comunicaciones inalámbricas a los sistemas de la primera generación y aumentando sustancialmente sus prestaciones y rendimiento. Queda por ver la prospectiva de estos

nuevos sistemas visto el escaso éxito de las tecnologías de la primera generación. A continuación, repasaremos el estado del arte de las tecnologías para la televisión digital en movilidad de la primera y segunda generación, veremos a qué retos se enfrentan y plantearemos dos posibles nuevos modelos de negocio.

5.2.1. Nuevos retos

La capacidad de ofrecer servicios de multimedia masivos en movilidad, entre los que incluimos a la televisión digital en movilidad, representa un gran reto tecnológico que requiere de la adaptación de los contenidos a las características de los dispositivos móviles, y precisa de una conexión fiable y segura. Además, la experiencia ha mostrado que el mercado de los servicios de multimedia masivos en movilidad debe encontrar un equilibrio entre ofrecer los servicios a un coste bajo que los haga atractivos para los usuarios, y generar a su vez una masa crítica de consumidores lo suficientemente grande como para garantizar beneficios a las operadoras.

Uno de los mayores retos tecnológicos para la implantación de un estándar para televisión digital en movilidad deriva del alto coste que supone el despliegue de redes de comunicación inalámbricas. La capacidad de proporcionar un servicio de banda ancha sobre una gran área requiere de múltiples estaciones de transmisión, lo que resulta muy caro. Esto es debido a que, para transmitir cualquier cantidad de información como por ejemplo un bit, se requiere de una cantidad de energía cuya potencia varía según la distancia a la que queramos transmitir con garantías. A mayor número de datos menos energía disponible para cada bit, lo que reduce la distancia segura de transmisión. Se ha comprobado que cuanto mayor es el número de datos (bits) a transportar más estaciones de transmisión se requieren. El coste por bit transmitido es constante, lo que se traduce en altos costes de implantación para las redes de comunicación inalámbricas de banda ancha.

Para garantizar el máximo número posible de suscriptores, las redes de comunicación inalámbricas se suelen diseñar teniendo en cuenta el peor escenario de transmisión posible, lo que suele generar infraestructuras de red sobredimensionadas. Además, la transmisión de servicios en movilidad plantea otros retos distintos a los de la radiodifusión terrestre tradicional debido a la movilidad de los receptores, al pequeño

tamaño de las antenas y a que la recepción se produce a nivel del suelo. Las redes de comunicación inalámbricas para servicios en movilidad deben de ser muy densas y tener muchas estaciones de transmisión para poder proporcionar un servicio con garantías de cobertura, y sólo resultan rentables de implementar en áreas densamente pobladas.

La segunda generación de tecnologías para la televisión digital en movilidad deberá solventar muchos de estos problemas aumentando sus prestaciones mediante nuevas técnicas.

5.2.2. Modelos de negocio

Los costes asociados a la construcción, mantenimiento y operación de una red de comunicaciones inalámbrica pueden ser altos, y para poder generar un modelo de negocio viable esos costes deben de poder ser amortizables en el tiempo. En el caso de las redes de comunicación con conexiones *unicast*, el coste por usuario suele ser fijo, pero en el caso de las redes *broadcast*, el coste por usuario disminuye a medida que aumenta el número de suscriptores, derivando en un modelo de negocio que depende esencialmente de la demanda de consumo y del número potencial de usuarios en una misma área.

Las posibilidades de éxito comercial para cada tecnología dependerán, en parte, de la capacidad de generar una demanda suficiente de servicio que permita recuperar los costes de la inversión en la red, por lo que tenderán a centrar sus esfuerzos en áreas densamente pobladas con muchos usuarios potenciales, lo que puede ir en detrimento de las áreas no urbanas limitando la posibilidad de que una tecnología acabe dando cobertura a todo un país.

El fracaso en el pasado de tecnologías para la televisión digital en movilidad como DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*) y MediaFLO (*Media Forward Link Only*) ha demostrado que los consumidores no están dispuestos a pagar un alto coste de suscripción por estos servicios, por lo que las operadoras de las tecnologías de la segunda generación deberán hacer balance entre los costes operativos de desplegar una red de comunicaciones inalámbricas y el precio que los consumidores estén dispuestos a pagar.

La implementación de la segunda generación de tecnologías para la televisión digital en

movilidad viene condicionada por varios obstáculos. El primero es que la televisión y la telefonía son industrias muy diferentes, cada una con un modelo de negocio distinto. La televisión digital en movilidad depende de varios actores diferentes (operadores de señal de televisión, operadores de señal de telefonía móvil, fabricantes de dispositivos, generadores de contenidos, etc.), y cada uno de ellos está sometido a un marco regulador distinto que cambia para cada territorio. Este entorno de mercado tan competitivo va a requerir que, como mínimo, en cada territorio los operadores de señal de televisión y los operadores de señal de telefonía móvil trabajen juntos para alcanzar un modelo de negocio satisfactorio para ambos.

Un posible nuevo modelo de negocio que se está ensayando es el de un gran macrooperador de señal que actúe como un proveedor de servicios de datos. La idea es establecer un modelo cooperativo en el que un operador de señal controle una gran red de difusión y comparta sus recursos y el escaso espacio radioeléctrico con otros operadores menores de telefonía móvil y con los generadores de contenido multimedia. Este gran macrooperador de señal también puede ser un consorcio de operadores de telefonía móvil compartiendo sus redes, un gran operador de radiodifusión o cualquier otra entidad. El gran macrooperador se encargaría de la operación y mantenimiento de la red, y proporcionaría a los operadores de señal de telefonía la capacidad de agregar contenidos y transmitir. Este modelo garantiza la posibilidad de ofrecer servicios interactivos, ofrece una factura única a los usuarios y soluciona muchos problemas derivados del uso ineficiente del espectro radioeléctrico.

Desde un punto de vista tecnológico, ese gran macrooperador de señal debería, idealmente, gestionar una red híbrida *broadband-broadcast*, capaz de transmitir datos por banda ancha y de radiodifundir contenidos multimedia en *broadcast*. La convergencia de estas dos tecnologías de transmisión podría habilitar a su vez un nuevo modelo de negocio.

En el pasado, hemos visto como las tecnologías como DVB-H y MediaFLO fracasaban mientras que ISDB-T (*Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial*) y T-DMB (*Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting*) alcanzaban el éxito en sus países de origen gracias al apoyo gubernamental. También hemos asistido a la evolución en los hábitos de los consumidores de productos multimedia, que ha desplazado el modelo de

negocio desde el predominio del consumo televisivo hacia una preferencia por los llamados contenidos OTT (*Over The Top*) o contenidos multimedia en Internet. Antiguamente, el modelo de negocio de la televisión era vertical, y comenzaba con la generación de contenidos para acabar llegando al receptor del usuario. Los nuevos actores como las compañías de *software* (Google, Apple, etc.), el hecho de que los consumidores puedan hoy en día elaborar y compartir sus propios contenidos, junto con el cambio en los hábitos de los consumidores, nos ha llevado actualmente hacia un modelo de negocio de la televisión horizontal en el que predominan los contenidos personalizados y a la carta (*on demand*). Este modelo no favorece a las operadoras de señal, tanto de televisión como de telefonía (datos), que sólo pueden ofrecer un único servicio (televisión o datos) y de forma limitada, y que únicamente pueden rentabilizar sus respectivas y costosas redes de difusión mediante la inclusión de publicidad o a través del cobro de una tarifa por su servicio.

Un modelo de difusión tecnológico híbrido *broadband-broadcast* podría servirles a las operadoras de señal de televisión y de telefonía para volver a recuperar el liderazgo del sector al tiempo que rentabilizan sus redes de difusión, ya que podrían aliarse para convertirse en un macrooperador de señal que ofreciera para una gran área territorial servicios de multimedia en movilidad individuales, interactivos y a la carta, además de televisión digital en movilidad y servicios de *datacasting*, todo dirigido a un número masivo de usuarios. Un sistema así organizado podría hacer un uso mucho más eficiente del espectro radioeléctrico, abaratar los costes para el usuario y unificarlos en una sola factura, y ampliar el alcance de los productos y servicios generados por los creadores de contenido.

La convergencia de las tecnologías de difusión hacia un modelo de transmisión híbrido *broadband-broadcast* ha sido planteada en algunos foros de la industria de la televisión y del sector de la telefonía, pero actualmente carece de una hoja de ruta clara. Sin embargo, la figura del macrooperador de señal está empezando a cobrar forma bajo el liderazgo de las grandes operadoras de telefonía como Telefónica o Vodafone, en el caso de España.

5.2.3. Primera generación de tecnologías para la televisión digital en movilidad

A continuación, haremos un pequeño repaso a las características tecnológicas de los sistemas para la televisión digital en movilidad de la primera generación, sus ventajas y limitaciones.

5.2.3.1. 3G MBMS

La verdadera era de los servicios de televisión digital en movilidad comienza con las redes 3G, que podían proporcionar tasas de transmisión de datos de hasta 1200 kbps y soportar una gran variedad de servicios de transmisión y descarga de vídeo, así como aplicaciones multimedia. Hoy en día, la transmisión de vídeo, los servicios multimedia y la televisión digital en movilidad están disponibles a través de las redes 3G, y se pueden encontrar todo tipo de contenidos desde noticias, música, información meteorológica o de deportes. MBMS (*Multimedia Broadcast Multicast Service*) es una tecnología capaz de proporcionar servicios de televisión digital en movilidad a un gran número de usuarios empleando tecnología *multicast* y *broadcast*, en lugar de *unicast*, a través de las redes 3G y conservando el carácter unidireccional y las funcionalidades del sistema 3G al mismo tiempo.

La tecnología MBMS soluciona problemas como el desvanecimiento de señal combinando la señal de múltiples células, emplea técnicas de corrección de errores hacia delante (FEC) y codificación Raptor⁸⁹. MBMS también soporta intervalos de tiempo de transmisión largos, lo que favorece la movilidad de los terminales. MBMS emplea dos estrategias de transmisión: una selectiva en la que las señales provenientes de las distintas células son descodificadas individualmente y se deja que el dispositivo móvil elija que datos son los correctos; y otra suave en la que los bits de datos recibidos de los distintos enlaces de conexión se combinan entre ellos antes de ser descodificados, lo que permite ahorrar energía al tener que descodificar menos datos, pero que es más difícil de implementar porque requiere de la sincronización de transmisiones entre las células.

⁸⁹ Los códigos *Raptor* son un tipo de códigos pertenecientes a la llamada familia de los códigos *Tornado* que se emplean para la corrección de errores y son más eficientes que la codificación Reed-Solomon.

La codificación Raptor está basada en un código fuente de altas prestaciones que permite la implementación de *software* en dispositivos móviles sin la necesidad de *hardware* dedicado. Los códigos Raptor forman parte de la capa de aplicaciones de MBMS para servicios de *streaming* y descarga, y sirven para gestionar las pérdidas de paquetes de datos, tanto en la red de transporte como en la red de acceso.

La primera versión de MBMS tenía una capacidad limitada, y compartía los mismos recursos en una misma célula para los servicios de voz, mensajería y datos. Además, debido a que 3G emplea tecnología WCDMA (*Wide Code Division Multiple Access*), los servicios MBMS producían interferencias en los otros servicios. Por eso, las operadoras de telefonía móvil han dado prioridad a evolucionar sus tecnologías de transmisión *unicast* como HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) o LTE (3G *Long Term Evolution*), en lugar de invertir en desarrollar más el sistema MBMS.

3GPP release 8 incluía las especificaciones de una versión avanzada de MBMS llamada iMB (*integrated Mobile Broadcast*), que mejoraba la capacidad y cobertura del sistema incluyendo la posibilidad funcionar en redes SFN (*Single Frequency Network*). La tecnología iMB emplea para transmitir una parte del espectro dúplex 3G que está sin utilizar, por lo que no interfiere con los servicios de voz y datos. El mayor obstáculo para la implantación de esta tecnología es que requiere del despliegue de una red dedicada para funcionar, y eso resulta muy costoso.

5.2.3.2. T-DMB

El sistema T-DMB (*Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting*) comenzó su andadura en Corea del Sur en 2005, convirtiéndose así en la primera tecnología para la difusión de televisión digital en movilidad por redes terrestres del mundo. T-DMB fue diseñado para proporcionar servicios de audio y vídeo con resolución CIF o QVGA, además de servicios de datos interactivos.

T-DMB está basado en el sistema de difusión de audio digital DAB (*Digital Audio Broadcasting*), también conocido como Eureka 147, que fue adaptado para poder incluir servicios de vídeo y multimedia. T-DMB emplea una codificación Reed-Solomon para corregir los errores y un entrelazado convolucional para mejorar la robustez de la señal; el resto de la capa física permanece igual que en el sistema DAB. El sistema emplea

portadoras de 1,5 MHz y codificación MPEG-4 AVC/H.264 para el vídeo y BSAC (*Bit Sliced Arithmetic Coding*) para el audio.

El sistema T-DMB tiene una eficiencia espectral menor a la de otros estándares para televisión digital en movilidad debido a que hereda las características de DAB que estaba diseñado únicamente para audio. T-DMB puede proporcionar tasas de transmisión de datos de hasta 1,7 Mbps, aunque lo normal es que se quede en torno a 1 Mbps.

T-DMB es, junto con ISDB-T 1 Seg (*Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial 1 Segment*), la única tecnología para la televisión digital en movilidad de la primera generación que se ha implantado con éxito. Su mayor ventaja a la hora de desplegar sus servicios ha sido que heredaba la infraestructura del sistema DAB que llevaba una década en funcionamiento en todo el mundo, lo que ha simplificado enormemente los costes de establecer una red. A mediados de 2011, se calculaba que en Corea del Sur había más de 50 millones de dispositivos con tecnología T-DMB.

5.2.3.3. ATSC M/H

El estándar ATSC M/H (*Advanced Television Systems Committee Mobile/Handheld*) consiste en una serie de modificaciones del estándar ATSC DTT (*Digital Television Terrestrial*) para poder proporcionar servicios de audio, vídeo y datos a dispositivos móviles. ATSC M/H es compatible con las tecnologías ATSC anteriores y proporciona servicios multimedia (tanto por descarga como en *streaming*) embebidos en la estructura de la señal ATSC original, de modo que un receptor fijo puede acceder a los contenidos tradicionales de televisión en SD y HD mientras que un dispositivo móvil puede acceder a los contenidos ATSC M/H. El estándar ATSC M/H no está sujeto a ninguna configuración específica y puede distribuir sus 19,4 Mbps entre contenido fijo y móvil a gusto del operador.

La mayor ventaja del sistema la constituye el que aprovecha la infraestructura de ATSC y su espectro radioeléctrico. Dado que los servicios del estándar ATSC son gratuitos, se espera que los de ATSC M/H lo sean también, pero aun así el sistema incorpora tecnología para soportar el acceso restringido a los contenidos.

Podemos dividir la arquitectura del sistema ATSC M/H en tres capas: la capa de

presentación, la capa de gestión y la capa física.

La capa de presentación define los protocolos y *códecs* de los servicios multimedia, que suelen estar basados en el paquete de herramientas MPEG-4, para construir un sistema que aborda el problema de los múltiples tipos de dispositivos y tamaños de pantalla mediante el empleo de dos subcapas: La primera subcapa, o capa base, es el equivalente de la capa base del perfil AVC de MPEG-4. La segunda subcapa es una capa de realce que emplea técnicas de gráficos vectoriales escalables (SVG o *Scalable Vector Graphics*). La primera capa transporta servicios con resolución 416x240, y la capa de realce puede aumentar la resolución hasta 832x480. El *códec* empleado para el audio es HE AAC v2 (*High Efficiency Advanced Audio Coding version 2*). La capa de presentación también define la sincronización entre el audio, el vídeo y los elementos gráficos.

La capa de gestión describe la señal, su encapsulación, el protocolo de transporte, la transferencia de archivos, además de los protocolos de acceso al servicio y los servicios de derechos digitales (DRM o *Digital Rights Management*). ATSC M/H abandona la estructura de MPEG-2 TS (*Transport Stream*) en favor de los paquetes UDP (*User Datagram Protocol*). La sincronización entre los distintos flujos de datos se consigue mediante el uso de *Real Time Protocol*. La comunicación del servicio y la señal son proporcionados mediante OMA-BCAST (*Open Mobile Alliance- Mobile Broadcast Services Enabler Suite*) y un FIC (*Fast Information Channel*).

El servicio ATSC M/H emplea la técnica *time-slicing*, reemplazando algunos de los paquetes de datos del MPEG-2 TS original por contenido ATSC M/H que los usuarios con la tecnología adecuada pueden captar.

5.2.3.4. MediaFLO

MediaFLO (*Media Forward Link Only*) es una tecnología propietaria desarrollada por la empresa estadounidense Qualcomm que fue diseñada para proporcionar servicios de multimedia en movilidad, incluyendo televisión digital, empleando redes de difusión de telefonía móvil.

El sistema MediaFLO se basaba en el empleo de la técnica de modulación COFDM (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) con una Transformada Rápida de

Fourier (FFT o *Fast Fourier Transformation*) de 4K. La codificación de la señal empleaba códigos convolucionales y Reed-Solomon. La señal podía modularse en QPSK (*Quadrature Phase-Shift Keying*) o 16-QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*), tanto convencional como jerarquizada. La capacidad de transmisión del sistema variaba entre los 2,8 y los 11,2 Mbps, dependiendo del ancho de banda (5, 6, 7 u 8 MHz). La tasa de transmisión media que alcanzaba el sistema era de 200-250 kbps para vídeo codificado en MPEG-4/AVC (*Advanced Video Coding*), lo que le permitía proporcionar hasta 20 servicios simultáneos de televisión digital en movilidad con un ancho de banda de 6 MHz. El sistema se diseñó para que funcionase en las bandas VHF y UHF, y más específicamente en la banda de los 700 MHz, cuya licencia de explotación tenía Qualcomm para el territorio de los Estados Unidos.

MediaFLO organiza sus servicios en MLCs (*Multicast Logical Channel*). Cada MLC contiene uno o varios componentes del servicio, que pueden ser identificados en la capa física y luego descodificados independientemente. Este sistema de encapsular los servicios en la capa física permite el empleo de técnicas de *time-slicing* con el consiguiente ahorro de batería en los dispositivos móviles. Además, MediaFLO incluye un sistema de capas de servicio organizados mediante modulación jerárquica que proporcionan dos resoluciones distintas al usuario dependiendo de su nivel de recepción de la señal. MediaFLO también puede funcionar localmente en redes SFN (*Single Frequency Network*) mediante la transmisión de sus MLCs encapsulados en *superframes* OFDM, que incluyen información sobre la transmisión de la señal, metadatos y servicios de carácter local.

Los servicios de MediaFLO fueron lanzados en los Estados Unidos en 2007 por las operadoras de telefonía móvil AT&T y Verizon asociadas con Qualcomm. Una red de transmisores UHF en la banda 716-728 MHz, cuya licencia de explotación tenía Qualcomm, fue desplegada y, a mediados de 2010, el sistema daba cobertura a unos 68 millones de usuarios en las principales ciudades de Estados Unidos. Los servicios MediaFLO no obtuvieron éxito comercial y la tecnología fue liquidada en 2011.

5.2.3.5. ISDB-T 1 Seg

El sistema ISDB (*Integrated Services Digital Broadcasting*) fue desarrollado en Japón para la transmisión de audio y vídeo de calidad, además de datos. Su perfil más popular

es ISDB-T (*Terrestrial*), que basa su sistema de transmisión de audio y vídeo en un *múltiplex* MPEG-2, y que incluye la codificación MPEG-4/AVC/H.264 para los servicios en movilidad. El sistema emplea un sistema de transmisión segmentado en bandas con modulación OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), intercalado de frecuencia y de tiempo, códigos convolucionales y Reed-Solomon.

ISDB-T utiliza un sistema de transmisión segmentado en bandas (BST-OFDM o *Band Segmented Transmission*), que fue diseñado para proporcionar una transmisión jerárquica dependiendo de la capacidad de recepción. El sistema ISDB-T emplea un ancho de banda de canal de 5,6 MHz que se divide en 14 segmentos. 13 de estos segmentos se usan para la transmisión de datos y uno funciona como banda guarda. En los 13 segmentos es posible transmitir hasta tres programas simultáneamente en tres capas jerárquicas con diferentes parámetros de transmisión y robustez. En su configuración más común, ISDB-T emplea un segmento (1 Seg) para los servicios de televisión digital en movilidad y los otros 12 para servicios de televisión digital en alta definición a receptores fijos.

El estándar ISDB-T emplea un sistema de corrección de errores hacia delante (FEC) similar al del sistema DVB-T (*Digital Video Broadcasting-Terrestrial*), pero es ligeramente superior al sistema DVB-T en el entorno en movilidad gracias a su sistema de intercalado temporal de 427,5 ms.

Los servicios comerciales de ISDB-T 1 Seg fueron lanzados en Japón en el año 2006, y a principios de 2012 se habían vendido más de 120 millones de dispositivos móviles dotados con esta tecnología. A pesar de estas cifras, los servicios 1 Seg todavía no resultan comercialmente rentables y se mantienen porque las entidades reguladoras japonesas obligan a las operadoras de señal de televisión a proporcionar servicios 1 Seg.

Una versión ligeramente modificada del sistema llamada ISDB-T_B (*Brazilian*) ha sido adoptada por muchos países de Sudamérica, entre ellos Brasil.

5.2.3.6. WiMAX

WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access* o Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas) es una estándar de transmisión de datos que utiliza las ondas de radio en las frecuencias de 2,3 a 3,5 GHz y puede tener una

cobertura de hasta 48 km. WiMAX está definido como el estándar IEEE 802.16 y permite la recepción de datos por microondas y la retransmisión por ondas de radio. El único organismo habilitado para certificar el cumplimiento del estándar y la interoperabilidad entre equipamiento de distintos fabricantes es el Wimax Forum.

Existen planes para desarrollar perfiles de certificación y de interoperabilidad para equipos que cumplan el estándar IEEE 802.16e, lo que posibilitará la movilidad del sistema, así como una solución completa para la estructura de red que integre tanto el acceso fijo como el móvil. También se prevé el desarrollo de perfiles para el entorno móvil en las frecuencias con licencia (2,3-2,5 GHz).

Actualmente existen dos variantes de WiMAX:

Una de acceso fijo (802.16d) en la que se establece un enlace entre la estación base y un equipo fijo situado en el domicilio del usuario. Para el entorno fijo, las velocidades teóricas máximas que se pueden obtener son de 70 Mbps con una frecuencia de 20 MHz. Sin embargo, en entornos reales, sólo se han conseguido velocidades de 20 Mbps con células de hasta 6 km de radio y un ancho de banda que es compartido por todos los usuarios de la célula.

Otro de movilidad completa (802.16e) que permite el desplazamiento del usuario de un modo similar al que se puede dar con la tecnología 3G. El perfil móvil aún no se encuentra completamente desarrollado, y compite actualmente con las tecnologías LTE (3G *Long Term Evolution*).

Una de las mayores ventajas de WiMAX es que puede ofrecer banda ancha en zonas donde el despliegue de cable o fibra, por la baja densidad de población, presenta unos costes por usuario muy elevados, como las zonas rurales.

5.2.3.7. DVB-H

DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*) fue lanzado como una ampliación de la tecnología DVB-T (*Terrestrial*), que es el estándar para la televisión digital terrestre más extendido del mundo y el sistema de elección para la Unión Europea. DVB-T fue diseñado originalmente para la recepción mediante antenas elevadas, lo que hace que no sea un estándar apto para la transmisión de televisión digital en movilidad debido a la

degradación de la señal. DVB-T tampoco es un sistema válido para la televisión digital en movilidad debido a los problemas que ocasionaría el Efecto Doppler entre las portadoras de señal, a la ausencia de intercalado temporal y a que el receptor debe descodificar todo el *múltiplex*, lo que no resulta eficiente para un dispositivo alimentado por baterías.

El sistema DVB-H aprovechaba la misma infraestructura de DVB-T (transmisores, antenas, incluso el *múltiplex*) e introducía nuevas características en la señal para garantizar una transmisión más robusta y resistente a las interferencias en un entorno en movilidad como son: la técnica de transmisión discontinua *time-slicing* que ahorra batería, mecanismos FEC (*Forward Error Correction*) de corrección de errores hacia delante y una capa de conexión llamada MPE (*Multi-Protocol Encapsulation*), que consiste en una adaptación del protocolo de Internet IP para transportar flujos de datos (TSs o *Transport Streams*) en MPEG-2.

La técnica de *time-slicing* permite transmitir salvas de datos de hasta 2 Mbps que incluyen información del tiempo restante hasta la próxima salva. Así, los dispositivos móviles se pueden sincronizar con las salvas de datos del servicio que les interesa y desconectarse el resto del tiempo ahorrando batería. Con el sistema MPE-FEC, cada salva de datos es codificada con la técnica Reed-Solomon, que añade datos adicionales a la fuente de datos IP para compensar posibles errores en la transmisión.

El estándar DVB-H incluye un interfaz IP con dos perfiles de implementación: IPDC (*Internet Protocol Datacast*), un perfil destinado a dispositivos desconectados también conocido como DVB-CBMS (*CBMS Stands for Convergence of Broadcast and Mobile*). Y OMA-BCAST (*Open Mobile Alliance-Mobile Broadcast Services Enabler Suite*), que define una metodología común para transmitir contenidos, dar servicios de información y la protección de los contenidos. IPDC describe los requisitos para que una red DVB-H permita una conexión bidireccional aprovechando la red de telefonía móvil y dotando así al servicio de interactividad. OMA-BCAST se parece a IPDC, pero hace más énfasis en la integración de la red DVB-H en una infraestructura de telefonía móvil.

Uno de los escollos tecnológicos para la implementación del sistema DVB-H ha sido el

alto coste de desarrollo de una infraestructura de red apropiada. Los dispositivos DVB-H tienen muchos más problemas de recepción debido a la propagación de la señal que los receptores DVB-T, lo que obliga a reforzar la red con transmisores y repetidores hasta generar un sistema de transmisión SFN (*Single Frequency Network*) muy denso, que requiere de grandes inversiones en infraestructura.

5.2.3.8. DVB-SH

El estándar DVB-SH (*Digital Video Broadcasting-Satellite Handheld*) fue diseñado para proporcionar servicios de televisión digital en movilidad mediante redes híbridas satélite-terrestre operando en la banda S. Su arquitectura híbrida hace de DVB-SH una tecnología muy adecuada para la transmisión de televisión digital en movilidad en modo *broadcast*, ya que un solo satélite geoestacionario puede dar cobertura a una gran área equivalente a un país e incluso a toda Europa Occidental, mientras que en las áreas urbanas se pueden emplear repetidores que retransmitan la señal por vía terrestre.

DVB-SH emplea la técnica de modulación OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) en su componente terrestre, y OFDM o TDM (*Time Division Multiplexing*) para su componente satélite. OFDM permite el empleo de redes híbridas SFN (*Single Frequency Network*) en las que ambos componentes de la red emplean los mismos parámetros de transmisión. La señal modulada en TDM se ajusta mejor a redes MFN (*Multi Frequency Network*) y es más adecuada para el satélite debido a la alta potencia de su única portadora. En cualquier caso, tanto la señal OFDM como TDM permiten el *handover*⁹⁰.

El sistema DVB-SH también incorpora en su señal técnicas de intercalado temporal de larga duración que permiten además el cambio rápido de canal. Una señal de satélite dirigida a dispositivos móviles tiene que tener un intercalado temporal de larga duración (de en torno a los 10 segundos), ya que la señal en el receptor se ve bloqueada constantemente por obstáculos como edificios y árboles. Además, la movilidad de los dispositivos, tanto a alta como a baja velocidad, provoca constantes interrupciones en la señal. Por eso, DVB-SH tiene dos perfiles de FEC (*Forward Error Correction*), uno a

⁹⁰ Se denomina *handover* o traspaso (también *handoff* o transferencia) al sistema utilizado en comunicaciones móviles celulares con el objetivo de transferir el servicio de una estación base a otra cuando la calidad del enlace es insuficiente en una de las estaciones. Este mecanismo garantiza la realización del servicio cuando un móvil se traslada a lo largo de su zona de cobertura.

nivel de la capa física que emplea un turbo código con intercalado convolucional y otro a nivel de la capa de la capa de conexión conocido como MPE-FEC (*Multi-Protocol Encapsulation-Forward Error Correction*). El turbo código con intercalado convolucional permite proporcionar un servicio de cambio rápido de canal, pese a la larga duración de su intercalado temporal, gracias al empleo de un perfil de intercalado uniforme tardío. La robustez de la señal después del cambio rápido de canal la proporciona la paridad de datos introducida en la última parte del perfil. Cuanto mayor es la última parte de la señal en el perfil uniforme tardío mejor es la representación de la señal tras el cambio rápido de canal, aunque estos datos en la señal tardía reducen levemente el rendimiento de la señal completa con todos sus canales.

El turbo código que emplea el sistema de corrección de errores hacia delante (FEC) del sistema DVB-SH en su capa física es más eficiente que los códigos convolucionales y Reed-Solomon que empleaban los sistemas de televisión digital en movilidad de la primera generación, por lo que a menudo se considera a DVB-SH como un sistema de transición (o generación 1.5) entre la primera y segunda generación de estándares para la televisión digital en movilidad.

A pesar de que los Estados Unidos lanzaron un satélite DVB-SH en 2008, y que Europa hizo lo propio en 2009, a día de hoy todavía no existen servicios comerciales con esta tecnología. El mayor reto a superar para la implantación de la tecnología DVB-SH es el alto coste de la inversión en infraestructura necesaria para alcanzar una buena cobertura en entornos urbanos.

5.2.4. Segunda generación de tecnologías para la televisión digital en movilidad

A continuación, veremos cómo han evolucionado los sistemas para la televisión digital en movilidad de la primera generación, sus nuevas características, ventajas y limitaciones.

5.2.4.1. LTE eMBMS

LTE (3G *Long Term Evolution*) es una evolución de la norma 3GPP UMTS (3G), que ha sido denominada por motivos comerciales como 4G.

Poco antes del año 2010, las redes UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) llegaban al 85% de los abonados a servicios de telefonía móvil. LTE se diseñó como un sistema capaz de mejorar significativamente la experiencia de los usuarios de dispositivos móviles que utilicen el protocolo de Internet (IP) para cualquier tipo de tráfico de datos de extremo a extremo dotando al sistema de una buena calidad de servicio (QoS), tanto para datos como para el tráfico de voz (VoIP), además de permitir una mejor integración con otros servicios multimedia. La tecnología LTE puede soportar servicios como la navegación web, servicios FTP (*File Transport Protocol*), vídeo en *streaming*, voz sobre IP, juegos en línea, vídeo en tiempo real, pulsar para hablar (*push-to-talk*) y pulsar para ver (*push-to-view*).

El 3GPP (Third Generation Partnership Project) ha definido las prestaciones de un MBMS Aumentado (*enhanced-Multimedia Broadcast Multicast Service*) como parte de la versión 9 del estándar LTE para incluir un sistema de difusión *broadcast* en la nueva generación de sistemas de telefonía móvil. La capacidad de difusión *multicast* y *broadcast* mediante el soporte a la tecnología MBMS fue uno de los principales objetivos del sistema LTE desde el principio.

El estándar eMBMS (*enhanced MBMS*) es la evolución de la tecnología 3G-MBMS, y su principal innovación tecnológica consiste en la incorporación de la modulación OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) en la capa física, lo que le proporciona una mejor eficiencia espectral, le permite emplear mayores anchos de banda y funcionar en redes SFN (*Single Frequency Network*). El sistema eMBMS permite adaptar la cobertura del servicio a voluntad, pudiendo llegar a una única célula o a todas las que componen el área de una nación empleando la misma frecuencia portadora. Otra ventaja importante de eMBMS es que las difusiones *unicast*, *multicast* y *broadcast* están *multiplexadas* temporalmente, por lo que no se requiere una red dedicada ya que eMBMS puede coordinar la asignación de los recursos radioeléctricos a todas las células de una red SFN.

El sistema eMBMS permite a las redes LTE el ofrecer verdaderos servicios *broadcast* y gestionar servicios de multimedia masivos como televisión digital en movilidad, tanto a nivel local como nacional.

En julio de 2014, la compañía Nokia hizo una demostración de LTE eMBMS como sistema de difusión de televisión digital. Los resultados del ensayo no consiguieron despejar las dudas sobre la capacidad del sistema en su estado actual para servir como estándar de radiodifusión de televisión digital. En Agosto de 2014, las compañías Ericsson y Polkomtel emitieron en *streaming* mediante tecnología LTE eMBMS la apertura del Campeonato del Mundo de Voleibol a los presentes en el Estadio Nacional de Varsovia en Polonia, donde se celebraba el evento.

5.2.4.2. AT-DMB

AT-DMB (*Advanced Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting*) es la evolución del sistema surcoreano T-DMB. La necesidad de desarrollar AT-DMB surge debido a la evolución de los dispositivos móviles (*smartphones*, *tablets*, y reproductores para vehículos) que cada vez tienen pantallas más grandes y demandan mejores resoluciones, imposibles de ser transmitidas en el escaso ancho de banda de la tecnología T-DMB. T-DMB fue diseñado pensando en pantallas de 4-7 pulgadas mientras que AT-DMB se ha diseñado pensando en pantallas de 24 pulgadas con resolución VGA (720x480).

Los principales avances tecnológicos que incorpora AT-DMB son la modulación jerárquica, SVC (*Scalable Video Coding*) y la codificación turbo de canal. AT-DMB añade una capa de transmisión adicional para aumentar la capacidad del sistema sólo para aquellos dispositivos compatibles con la tecnología AT-DMB. Las técnicas de modulación jerárquicas consiguen aumentar la capacidad del sistema hasta los 2 Mbps en los mismos 1,536 MHz de ancho de banda de T-DMB, lo que es aproximadamente el doble de lo que obtenía el sistema anterior. La modulación jerárquica se caracteriza por tener dos flujos de datos (*streams*) independientes y con distintos niveles de robustez. El primer *stream*, o *stream* de alta prioridad, mantiene la compatibilidad con el sistema T-DMB ya que emplea también el *códec* MPEG-4/AVC/H.264. El segundo *stream*, o *stream* de baja prioridad, está destinado sólo a los dispositivos con tecnología AT-DMB. Mediante la tecnología SVC, la fuente de vídeo se codifica en una capa base que se transmite mediante el *stream* de alta prioridad y se crea también una capa de realce que se transmite mediante el *stream* de baja prioridad. La capa de realce proporciona alta resolución (a más de 900 kbps) y sólo se descodifica si la capa base está presente. Esta técnica genera dos problemas: uno es que la cobertura del *stream* de baja prioridad

es menor que la del *stream* de alta prioridad, y el otro es que el *stream* de alta prioridad sufre una degradación de su cobertura debido a que el *stream* de baja prioridad introduce ruido en la señal transmitida. En cualquier caso, la tecnología AT-DMB mejora a T-DMB proporcionando servicios de vídeo de alta calidad en áreas con buena cobertura.

AT-DMB está siendo ensayado en Corea del Sur y se espera su lanzamiento comercial próximamente.

5.2.4.3. DTMB y CMMB (China)

China es el mercado de televisión más grande del mundo, con aproximadamente el 70% de la población recibiendo señal de televisión digital terrestre. DTMB (*Digital Terrestrial Multimedia Broadcasting*) es un estándar para proporcionar servicios multimedia de alta calidad, incluido televisión digital en movilidad, desarrollado en China. Por su parte, CMMB (*China Multimedia Mobile Broadcasting*) es un estándar desarrollado en China para proporcionar servicios de televisión digital en movilidad a dispositivos móviles con pantalla pequeña.

DTMB admite las opciones de monoportadora y multiportadora para poder hacer frente a las distintas etapas de desarrollo de la radio y la televisión en las diferentes áreas de un país tan inmenso como China. DTMB emplea una técnica de secuencias de pseudo-ruido en el dominio temporal para mitigar la interferencia entre *símbolos*. Estas secuencias son empleadas por los receptores para evitar la necesidad de introducir portadoras piloto⁹¹ para estimar el canal, mejorando así el rendimiento del sistema. DTMB define dos tipos de aproximación de canal: uno del dominio temporal y otro híbrido frecuencia-tiempo; pero la única diferencia entre el modo monoportadora y multiportadora es el uso de una FFT (*Fast Fourier Transformation*) inversa. DTMB además es capaz de ofrecer un servicio de cambio rápido de canal mejor que el del sistema DVB-T, ya que trabaja directamente en el dominio temporal. El sistema de corrección de errores hacia delante (FEC) que emplea el sistema DTMB emplea una

⁹¹ Un piloto es un *símbolo* conocido que insertamos en determinadas posiciones de la señal COFDM para obtener información de las características de la transmisión. Los pilotos se transmiten a un nivel de potencia superior al del resto de la señal y, una vez que llegan al receptor, permiten conocer los detalles de la transmisión. El motivo por el cual se envían a una potencia superior en comparación con la potencia del resto de la señal es porque así mejoramos la relación señal ruido, minimizando así el efecto del ruido, cosa que nos permite realizar al final del proceso una mejor estimación del canal.

concatenación de códigos LPDC⁹² (*Low Density Parity Check*), junto con códigos BCH⁹³ (Bose-Chaudhuri Hocquenguem), que proporcionan un mejor rendimiento que los códigos convolucionales y Reed-Solomon de la primera generación de sistemas de televisión digital en movilidad.

La arquitectura del sistema CMMB se basaba originalmente en un sistema híbrido satélite-terrestre similar a DVB-SH (*Digital Video Broadcasting-Satellite Handheld*) que fuera capaz de cubrir toda el área geográfica de China. El sistema fue diseñado para proporcionar servicios de multimedia en movilidad así como información de emergencia en caso de desastres. CMMB emplea frecuencias en dos bandas diferentes. La parte del satélite emplea la banda S, pero como la cobertura es irregular en las áreas urbanas se planteó un sistema de repetidores que, bien podían rebotar la señal en la banda S, o retransmitirla empleando la banda UHF. También se planteó el uso de la banda Ku para transportar la señal desde el receptor del satélite a los transmisores en banda UHF. La capa física del sistema CMMB se basa en el empleo de la modulación OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) y fue el primer estándar en incluir códigos LPDC en combinación con códigos Reed-Solomon.

CMMB fue lanzado comercialmente en 2006, pero a día de hoy únicamente se ha desplegado el componente terrestre de su red de transmisión.

5.2.4.4. ATSC 3.0

En mayo de 2010, el ATSC (Advanced Television Systems Committee) anunció su intención de crear un nuevo estándar de difusión de televisión digital terrestre y formó un grupo de trabajo, el PT-2 (Next Generation Broadcast Television Team) para explorar el potencial de las nuevas tecnologías de difusión.

⁹² LDPC (*Low Density Parity Check* o Comprobación de Paridad de Baja Densidad) son una clase de códigos de corrección de error lineal que permiten transmitir un mensaje por un canal de comunicaciones ruidoso (canal de transmisión con errores). Los códigos LDPC son códigos lineales cuya propiedad esencial es la de tener por lo menos una matriz de paridad de baja densidad, es decir, con pocos elementos distintos de cero. Una de sus aplicaciones es la corrección de errores en telefonía común o inalámbrica y en módems.

⁹³ Los códigos BCH (Bose-Chaudhuri Hocquenguem) forman una clase de códigos correctores de errores cíclicos que se construyen utilizando campos finitos. Una de las características clave de los códigos BCH es que, durante el diseño del código, hay un control preciso sobre el número de errores de símbolos corregibles por el código. En concreto, es posible diseñar códigos BCH binarios que pueden corregir los errores de múltiples bits. Los códigos BCH se utilizan en aplicaciones como las comunicaciones por satélite, los reproductores de discos compactos, DVDs, unidades de disco y las unidades de estado sólido.

Se espera que el sistema ATSC 3.0 se desarrolle en los próximos años y que sea capaz de proporcionar un mejor servicio a los usuarios gracias a un incremento en el ancho de banda y al uso de mejores técnicas de compresión. También se espera que el sistema ATSC 3.0 no sea compatible con versiones anteriores de ATSC, lo que podría dificultar en gran manera su implantación.

En marzo de 2013, el ATSC lanzó un concurso de propuestas para el desarrollo de la capa física de ATSC 3.0 con unas especificaciones de resolución UHDTV (*Ultra-High-Definition Television*) de 3840x2160 y 60 fps.

En febrero de 2014, la FCC (Federal Communications Commission) llevó a cabo en los Estados Unidos pruebas que implicaban la transmisión de un *múltiplex* con múltiples canales en HD y SD juntos, experimentando con los *códecs* MPEG-2, H.262 y MPEG-4 AVC/H.264. Finalmente, se decidió descartar el *códec* MPEG-4 AVC/H.264 en favor del más moderno MPEG-H/HEVC/H.265⁹⁴ (*High Efficiency Video Coding*) con modulación OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), en lugar de 8-VSB (*8-Vestigial Sideband Modulation*), para proporcionar una tasa de transmisión de datos de hasta 28 Mbps para un canal de 6 MHz de ancho.

Las pruebas del sistema continúan a día de hoy.

5.2.4.5. ISDB-Tmm e ISDB-T_{SB}

ISDB-Tmm (*multimedia*) e ISDB-T_{SB} (*Sound Broadcasting*) son evoluciones del estándar japonés ISDB-T 1 Seg (*Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial 1 Segment*). Ambos sistemas fueron diseñados para proporcionar servicios de transmisión de audio y vídeo de alta calidad a dispositivos con tecnología 1 Seg, por lo que los protocolos de transmisión de estos sistemas son compatibles con los de ISDB-T.

⁹⁴ H.265 o MPEG-H Parte 2, llamado de forma común como *High Efficiency Video Coding* (HEVC) es una norma que define un formato de compresión de vídeo, sucesor de H.264/MPEG-4/AVC (*Advanced Video Coding*), desarrollado conjuntamente por la ISO/IEC Moving Picture Experts Group (MPEG) y la ITU-T Video Coding Experts Group (VCEG) como ISO/IEC CD 23008-2 *High Efficiency Video Coding*. Se cree que HEVC tiene una relación de compresión de datos que duplica la de H.264/MPEG-4 AVC en vídeos con baja tasa de transmisión de datos optimizados para reproducción en *streaming*, pero cuando se quiere lograr una calidad mejor, se queda muy por detrás de H.264/MPEG-4/AVC debido a que comprime reduciendo los detalles del vídeo al mínimo, incluso a altas tasas de transmisión de datos. Es compatible con la televisión en ultraalta definición a resoluciones de hasta 8192x4320.

ISDB-Tmm e ISDB-T_{SB} transmiten en la banda VHF, que tradicionalmente ha sido empleada en Japón para la televisión analógica convencional. ISDB-T_{SB} ha sido diseñado para proporcionar servicios de radiodifusión de contenidos multimedia en *broadcast* a nivel regional con contenidos exclusivos seleccionados para cada región. ISDB-Tmm es un sistema de alcance nacional con el mismo contenido para todo el país.

Si comparamos ambos sistemas con la tecnología precedente (1 Seg) nos encontramos con que 1 Seg empleaba un único segmento de los 13 de la banda de frecuencia, mientras que ISDB-Tmm permite emplear para los servicios en movilidad cualquier combinación de los 13 segmentos, y que ISDB-T_{SB} permite a su vez emplear uno o tres de los segmentos.

ISDB-Tmm fue lanzado en las principales ciudades de Japón en abril de 2012 por la operadora MMBI. MMBI es una compañía fundada en 2009 por empresas del entorno de la telefonía y la televisión en un esfuerzo colaborativo por explotar la tecnología ISDB-Tmm. ISDB-T_{SB} todavía no ha sido lanzado comercialmente.

5.2.4.6. DVB-T2

DVB-T2 (*Digital Video Broadcasting-Second Generation Terrestrial*) es la evolución del sistema DVB-T. A pesar de estar dirigido a receptores fijos, también ha mostrado buenas prestaciones en el entorno en movilidad. DVB-T2 introduce varias mejoras que le dotan de una mayor robustez de señal para entornos en movilidad como mejores sistemas de corrección de errores hacia delante (FEC), constelaciones rotadas⁹⁵, intercalado temporal y MISO (*Multiple Input Single Output*). Además, DVB-T2 emplea técnicas de *time-slicing* y permite la configuración de los parámetros de transmisión para cada servicio, incluyendo la modulación, la codificación y el intercalado temporal gracias a una técnica llamada PLP (*Physical Layer Pipes*). Múltiples PLPs permiten el proporcionar servicios a múltiples usuarios, cada uno con sus parámetros de transmisión, empleando el mismo canal. Esto es muy importante porque se traduce en que no es necesario el desplegar una nueva red de transmisión dedicada a los usuarios

⁹⁵ La rotación de constelaciones es una técnica utilizada en la modulación digital, básicamente en las modulaciones QPSK y QAM, que consigue mejoras en la robustez (disminución del error de *símbolo*) y la eficiencia de la transmisión a partir de rotar las constelaciones de *símbolos* originales en un ángulo determinado. La idea básica es que los *símbolos* puedan reconstruirse a partir del valor de un único eje de la constelación de forma que, si se pierde el valor del otro eje durante la transmisión, todavía podamos reconstruir el *símbolo* enviado.

de dispositivos móviles. Además, DVB-T2 incluye un perfil llamado T2 Lite que simplifica la complejidad de la tecnología de recepción para facilitar la coexistencia de servicios fijos y móviles.

El sistema DVB-T2 ha heredado el mismo sistema de corrección de errores hacia delante (FEC) del sistema de televisión digital por satélite DVB-S2, que combina códigos LPDC (*Low Density Parity Check*) y BCH (Bose-Chaudhuri Hocquenguem). DVB-T2 también emplea la técnica de las constelaciones rotadas, que consiste en rotar las constelaciones de *símbolos* originales en un ángulo determinado en las modulaciones QPSK y QAM para mejorar la robustez (disminución del error de *símbolo*) y la eficiencia de la transmisión. También incorpora un sistema de intercalado temporal muy flexible, de pocos milisegundos hasta varios segundos, que dota a la señal de mayor robustez y permite ahorrar energía. Además, DVB-T2 es el primer sistema de difusión de televisión en emplear la técnica MISO basada en el código de Alamouti⁹⁶ para mejorar la recepción en redes SFN (*Single Frequency Network*). MISO permite al sistema operar en múltiples tipos de transmisor reduciendo el coste de implementación del sistema para las operadoras.

5.2.4.6.1. T2 Lite

La convivencia de servicios móviles y fijos en una misma frecuencia dentro del estándar DVB-T2 genera algunos problemas derivados de que la Transformada Rápida de Fourier (*Fast Fourier Transform* o FFT) y el patrón de portadoras piloto es el mismo para todo el *múltiplex* DVB-T2. Para alcanzar una buena eficiencia espectral, los servicios fijos requieren de FFTs amplias y patrones de portadoras piloto dispersos, mientras que la recepción en movilidad necesita FFTs más pequeñas y patrones de portadoras piloto más densos.

T2 Lite es un subestándar o perfil de DVB-T2 que contiene varias especificaciones técnicas dirigidas a los receptores DVB-T2 de los dispositivos móviles. El objetivo principal de T2 Lite es permitir el empleo de múltiples FFTs y patrones de portadora piloto en la misma frecuencia mediante una técnica llamada FEF (*Future Extension*

⁹⁶ *Space-Time Block Coding* o Codificación de Bloque Espacio-Tiempo es una técnica utilizada en las comunicaciones inalámbricas para transmitir múltiples copias de un flujo de datos a través de un número de antenas, y de explotar las diferentes versiones recibidas de los datos para mejorar la fiabilidad de la transferencia de datos. El código de Bloque Espacio-Tiempo más sencillo que existe fue inventado por el ingeniero iraní-americano Siavash Alamouti.

Frame) diseñada para poder acomodar múltiples técnicas de modulación de la señal, y que consiste en la organización del flujo de transporte de datos (TS) en *superframes* que se componen de T2 *frames* y FEFs. Los FEFs se pueden transmitir con los T2 *frames* normales sin afectar a la eficiencia de la señal DVB-T2, permitiendo que los servicios móviles empleen pequeñas FFTs y densos patrones de portadoras piloto, y que los servicios fijos continúen usando sus grandes FFTs y patrones de portadoras piloto dispersos.

T2 Lite se basa en la misma tecnología que DVB-T2, pero emplea sólo aquellos aspectos que resultan útiles para la recepción en movilidad, lo que permite simplificar el tamaño, capacidad y consumo energético de los receptores basados en esta tecnología, haciéndolos más adecuados para entornos en movilidad. T2-Lite también añade nuevas técnicas de codificación para poder ofrecer una señal más robusta en un entorno en movilidad.

Debido al despliegue mundial de las redes DVB-T2, se ha decidido que T2 Lite sea una parte integral del estándar DVB-T2 a partir de su versión 1.3.1., con lo que se espera incentivar a las operadoras de señal para que contemplen esta tecnología como vía para proporcionar sus servicios, dado el gran número de receptores que va a haber en el mercado. Además, los servicios T2 Lite requieren una mínima inversión inicial, ya que pueden proporcionarse empleando la red DVB-T2 eliminando así la necesidad de tener que desplegar una nueva red con el coste que ello implica. Se espera que la cada vez mayor disponibilidad de receptores DVB-T2 y de servicios T2 Lite pueda conseguir que se empiecen a fabricar dispositivos móviles con receptores T2 Lite (mucho más reducidos y eficientes que los de DVB-T2), generando así un nuevo mercado para esta tecnología.

5.2.4.7. DVB-NGH

DVB-NGH (*Digital Video Broadcasting-Next Generation Handheld*) es una evolución del estándar de televisión digital terrestre de segunda generación DVB-T2, que espera convertirse en el próximo estándar europeo de televisión digital en movilidad. Se estima que supere en un 50%, como mínimo, la eficiencia espectral de DVB-H.

Hemos visto cómo el sistema DVB-T2 aumentaba sus capacidades de servicio mediante

la incorporación de nuevas técnicas de corrección de errores hacia delante (FEC o *Forward Error Correction*) como los códigos LPDC (*Low Density Parity Check*). Otra de las técnicas que suelen emplear los sistemas de televisión digital en movilidad para poder aumentar sustancialmente su capacidad, al tiempo que se reduce el coste de despliegue de la red, consiste en manipular la diversidad temporal, espacial y de frecuencia de la señal. El uso combinado de intercalado en el dominio temporal, espacial y de frecuencia constituye una valiosa herramienta para mejorar la recepción de servicios de difusión para entornos en movilidad. Gracias a la mejora conseguida por las técnicas de intercalado temporal, espacial y de frecuencia es posible extender la cobertura de los servicios móviles, además de reducir la infraestructura de red. DVB-NGH ha sido el primer estándar para la televisión digital en movilidad en combinar el uso de diversidad en el dominio temporal, de frecuencia y espacial mediante el empleo del intercalado temporal de larga duración TFS (*Time Frequency Slicing*) y el MIMO (*Multiple Input Multiple Output*). Así mismo, la incorporación de la técnica de constelaciones rotadas mejora la robustez frente a desvanecimientos por medio de SSD (*Signal Space Diversity*) o técnicas de intercalado espacial.

Otras de las incorporaciones técnicas del sistema DVB-NGH son: SVC (*Scalable Video Coding*) con múltiples PLPs (*Physical Layer Pipes*); diferentes perfiles de compresión para el TS (*Transport Stream*) y el IP (*Internet Protocol*); distintas constelaciones para las modulaciones en 64-QAM, 256-QAM y QPSK; un sistema de cambio rápido de canal gracias al empleo del intercalado temporal de larga duración; una capa física más robusta; y MISO (*Multiple Input Single Output*) para SFNs (*Single Frequency Network*). DVB-NGH también suma a su componente terrestre, que funciona en la banda UHF, la posibilidad de un componente satélite que emplee la banda L o S.

La principal ventaja del sistema DVB-NGH frente a DVB-H y DVB-SH es que, además de superarlos en prestaciones, permite el emplear las ya existentes redes DVB-T2 para proporcionar su servicio, incluyéndolo en el mismo *multiplex* DVB-T gracias a la técnica FEF (*Future Extension Frame*), que permite acomodar modulaciones distintas en una misma señal. Actualmente el proyecto DVB-NGH continúa en desarrollo.

5.2.5. Tendencias para el futuro

El futuro cercano de la evolución de las tecnologías para la televisión digital en movilidad pasa por la implementación de varios estándares tecnológicos que están basados, fundamentalmente, en dos estilos de transmisión distintos: el *broadband* y el *broadcast*. Pero un futuro más lejano podría depararnos el desarrollo de una nueva generación de estándares con tecnologías que combinen ambas técnicas de transmisión.

5.2.5.1. DVB-3GPP

La compañía telefónica Orange propuso en el año 2010 la adopción del sistema de transmisión 3GPP eMBMS (*enhanced-Multimedia Broadcast Multicast Service*) como solución para el estándar DVB-NGH (*Digital Video Broadcast-Next Generation Handheld*). La idea no gustó al DVB Forum, pero vieron una oportunidad para llegar a los nuevos *smartphones* y *tablets*, además de absorber parte del ingente tráfico de datos de vídeo que estaban generando las redes móviles, por lo que se pusieron en contacto con la organización 3GPP ese mismo año. En marzo de 2011, tuvo lugar en la ciudad de Kansas (Estados Unidos) un taller de trabajo en el que participaron juntos la organización DVB y la 3GPP, y en el que presentaron sus propuestas de estandarización. En mayo de 2011, en la ciudad china de Xian, se creó un grupo de estudio, el 3GPP SA1, para estudiar la creación de una especificación *broadcast* para las redes de comunicaciones 3GPP que se basara en el estándar DVB y otros similares. En esta reunión se introdujo por primera vez, sin mucho éxito, el concepto de CBS (*Common Broadcasting Specifications*). En aquel momento, los operadores de telefonía móvil rechazaron la propuesta, pero la idea de un posible estándar *broadband/broadcast* operado conjuntamente por varias operadoras pervive y se está estudiando.

5.2.5.2. FoBTv

FoBTv (Future of Broadcast Television) es una asociación sin ánimo de lucro destinada a desarrollar tecnologías para los sistemas de radiodifusión terrestre de última generación y hacer recomendaciones a los organismos de estandarización de todo el mundo. Originalmente fue fundada en 2011 por 13 organizaciones de radiodifusión de televisión. Sus miembros representan a los organismos de radiodifusión, fabricantes, operadores de redes, organizaciones de normalización, institutos de investigación, entre

otros, de más de 20 países de todo el mundo.

Los objetivos de FoBTV son: Desarrollar modelos de futuro para la radiodifusión terrestre teniendo en cuenta los distintos entornos empresariales, reglamentarios y técnicos. Desarrollar requisitos para los sistemas de transmisión terrestre de próxima generación. Fomentar el desarrollo y colaboración de laboratorios para el estudio de la televisión digital. Recomendar las principales tecnologías que se deben utilizar como base para los nuevos estándares. Solicitar la estandarización de las tecnologías seleccionadas por los organismos apropiados.

Los miembros fundadores de FoBTV son: ATSC (Advanced Television Systems Committee), CBC (Canadian Broadcast Corporation), CRC (Communications Research Centre Canada), DVB (Digital Video Broadcasting Project), EBU (European Broadcast Union), ETRI (Electronics and Telecommunications Research Institute), TV GLOBO (Globo Tv-Brazil), IEEE-BTS (Ieee Broadcast Technology Society), NAB (National Association of Broadcasters), NERC-DTV (National Engineering Research Center of Digital Tv of China), NHK (Nhk Science and Technology Research Laboratories), PBS (Public Broadcasting Service) y SET (The Brazilian Society of Television Engineers).

La primera reunión del consorcio FoBTV tuvo lugar en Shanghai (China) en noviembre de 2011. En aquella ocasión, más de 250 miembros de la industria, ejecutivos, investigadores e ingenieros, entre otros, firmaron una declaración conjunta que recogía su intención de colaborar a nivel global para definir nuevos requerimientos, unificar estándares y compartir tecnologías para el desarrollo global de la difusión de televisión por vía terrestre evitando la implantación ineficiente de servicios, la competencia y el solapamiento de estándares.

Se espera que FoBTV tenga influencia en la hoja de ruta a seguir para la implantación de los próximos estándares tecnológicos para la televisión digital en movilidad.

5.3. ANÁLISIS DE LOS ESTÁNDARES TECNOLÓGICOS PARA LA TELEVISIÓN DIGITAL EN MOVILIDAD

A continuación, procedemos a analizar y comparar los estándares tecnológicos para la

televisión digital en movilidad de la primera y la segunda generación.

5.3.1. Análisis comparativo de los estándares de la primera generación

El primer paso que daremos para realizar el análisis comparativo de los estándares tecnológicos para la televisión digital en movilidad será el hacer una selección de aquellos sistemas más representativos. En nuestro caso, los estándares seleccionados coinciden con los que hemos analizado en detalle en el capítulo 4 de esta tesis y que son:

- **3G MBMS** (*3G Multimedia Broadcast Multicast Service*)
- **T-DMB** (*Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting*)
- **ATSC M/H** (*Advanced Television Systems Committee Mobile/Handheld*)
- **MediaFLO** (*Media Forward Link Only*)
- **ISDB-T 1 Seg** (*Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial 1 Segment*)
- **WiMAX** (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*)
- **DVB-H** (*Digital Video Broadcasting-Handheld*)
- **DVB-SH** (*Digital Video Broadcasting-Satellite Handheld*)

Nótese que: de los sistemas de telefonía móvil 3G sólo nos centramos en su perfil MBMS por ser el que incluye la capacidad de difusión en *broadcast*; que en el caso del estándar DMB sólo contemplamos su variedad terrestre, ya que su versión satélite es de aplicación exclusiva para Corea del Sur y Japón; mismo motivo por el que no incluimos en nuestra selección al estándar chino CMMB (*China Mobile Multimedia Broadcasting*); pero si contamos para nuestro análisis con la tecnología WiMAX, pese a ser un estándar para la transmisión de datos, ya que estimamos que se va a emplear en gran medida para difundir contenidos multimedia y de televisión digital en movilidad.

A continuación, elaboraremos una tabla en la que aparecerán los 8 estándares tecnológicos que hemos seleccionado, y en la que se indicarán 20 de sus características que hemos elegido por su relevancia tecnológica de cara a facilitar su implantación y que son:

- **Año de lanzamiento.** Nos sirve como indicativo del tiempo que estos estándares han tenido que competir unos con otros. Tenemos en cuenta el año del

lanzamiento comercial, aunque en algunos casos indicamos que el año que figura en la tabla fue el año de presentación de la tecnología o el año en que fue aprobado como estándar por algún gran organismo regulador como la UE (Unión Europea) o la FCC (Federal Communications Commission). En el caso de MediaFLO, también se indica su año de desaparición.

- **Familia tecnológica.** La mayoría de estos estándares son propuestos por grandes organismos, que suelen estar apoyados por entidades gubernamentales y que ya cuentan con una implantación previa en muchos territorios.
- **Sistema de transmisión.** Hemos visto en capítulos anteriores las diferencias entre los sistemas *unicast*, *multicast* y *broadcast*. A pesar de que todos estos sistemas permiten la transmisión de servicios multimedia, consideramos que la televisión digital en movilidad es un tipo de servicio multimedia que sólo se puede transmitir en *multicast* o *broadcast*, por lo que sólo consideramos para este análisis las tecnologías que tienen esa capacidad; pero contemplamos la posibilidad de la transmisión *unicast* como un gran valor añadido a la difusión de la televisión digital en movilidad, ya que permite añadir el componente de la interactividad al servicio.
- **Red y frecuencia.** El despliegue de una red de difusión puede resultar muy costoso, y es uno de los principales obstáculos para la implantación de algunos estándares de televisión digital en movilidad. Algunos de estos estándares pueden transmitir su servicio a través de las redes ya existentes de otros estándares de su misma familia tecnológica, lo que supone una gran ventaja. Otro factor a tener en cuenta es el rango de frecuencias del espectro radioeléctrico en el que estos estándares pueden funcionar, ya que el acceso a esas frecuencias puede determinar en cierto grado su éxito de implantación. Algunas frecuencias como VHF y UHF están muy saturadas en la mayoría de territorios del mundo.
- **Modulación.** Existen múltiples técnicas de modulación que sirven para maximizar el aprovechamiento del canal de comunicación, lo que posibilita transmitir más información en forma simultánea, además de mejorar la resistencia contra posibles ruidos e interferencias. La elección de una técnica de modulación u otra influye en la calidad de la señal transmitida y afecta a la

facilidad de implantación de un estándar en un territorio determinado.

- **Ancho de banda.** Es la longitud, medida en hercios, del rango de frecuencias en el que se concentra la potencia de la señal. Cuanto mayor es el ancho de banda más datos se pueden transmitir por él, dependiendo siempre de cómo se codifique y comprima la señal digital. El que un estándar tecnológico pueda trabajar en varios anchos de banda distintos también es indicativo de su capacidad de adaptación a otros territorios.
- **Capacidad de banda.** Es la cantidad de información, medida en bits por segundo, que un estándar puede transmitir sobre un ancho de banda dado. A mayor capacidad de banda mayores posibilidades de transmitir más información.
- **Tasa de transmisión máxima.** Define el número teórico de bits por segundo que un estándar podría transmitir en condiciones ideales para el ancho de banda dado. Si dividimos la tasa de transmisión máxima por el ancho de banda obtenemos la eficiencia espectral.
- **Eficiencia espectral.** Es una medida de lo bien aprovechada que está una determinada banda de frecuencia usada para transmitir datos (bits). Cuanto mayor es este valor mejor aprovechada está dicha banda. Se indica en bits por segundo transmitidos por hercio.
- **Canales por banda.** Indica el número de distintos canales de televisión que una tecnología puede transmitir para un ancho de banda dado. Aunque el espacio que ocupa un canal en una banda depende, en gran medida, de las técnicas de codificación empleadas en la señal y de la calidad del audio y el vídeo que se va a transmitir, en general se considera deseable el mayor número de canales posible, ya que esto refleja una gran oferta de servicios y hace más atractiva la tecnología a usuarios y operadoras.
- **Códecs.** Los *códecs* son usados en la difusión de televisión para codificar y comprimir el flujo de datos de la señal que se transmite y recuperarlo o descifrarlo en los receptores después para su reproducción. Los estándares para la televisión digital en movilidad suelen codificar su señal basándose en algún *códec*, de los múltiples que existen, y es deseable que este *códec* sea lo más avanzado y eficiente posible. También se deben tener en cuenta la popularidad de los *códecs* empleados y la capacidad del estándar para funcionar con

múltiples *códecs* de cara a la compatibilidad.

- **Distancia al transmisor.** Indica la distancia máxima a la que un receptor puede situarse de la antena transmisora y recibir una señal de calidad. Si consideramos que el coste de despliegue de la red de transmisión es uno de los principales factores que afectan a la implantación de un estándar de difusión, resulta deseable que la distancia entre transmisor y receptor sea lo mayor posible, ya que esto afectará a la cobertura de la tecnología y al número de usuarios/clientes que alcance. Mención aparte merecen las tecnologías por satélite, que pueden dar cobertura a territorios inmensos, pero suelen requerir de repetidores de señal para los entornos urbanos.
- **Velocidad de movilidad.** La señal de televisión digital en movilidad es recibida en dispositivos móviles o portátiles (teléfono móvil, ordenador portátil, PDA, etc.). Estos dispositivos móviles suelen estar en movimiento, ya sea en las manos de sus usuarios mientras caminan o mientras viaja en un tren de alta velocidad. La mayoría de estándares han desarrollado sus tecnologías pensando en hacer posible la recepción en coches (120 km/h), pero consideramos que cuanto mayor sea la velocidad a la que sea posible la recepción mejor.
- **Handover.** Se denomina *handover* o traspaso (también *handoff* o transferencia) al sistema utilizado en comunicaciones móviles con el objetivo de transferir el servicio de una estación base a otra cuando la calidad del enlace es insuficiente en una de las estaciones. Este mecanismo garantiza la realización del servicio cuando un móvil se traslada a lo largo de su zona de cobertura. Todos los estándares que analizamos tienen la capacidad de *handover*, pero resulta importante señalarlo ya que es una de las condiciones de servicio necesarias para que pueda existir la movilidad.
- **Sistema de ahorro de energía.** Los dispositivos móviles están alimentados con baterías y la recepción de televisión digital en movilidad consume mucha energía, por lo que resulta de capital importancia el emplear tecnologías que reduzcan el consumo energético. Algunos estándares confían en la escasa potencia de sus ondas portadoras, mientras que otros recurren a transmitir los datos por ráfagas, permitiendo así que el receptor se apague en los períodos inactivos. En cualquier caso, consideramos importante contar con un sistema de

ahorro de energía.

- **Tiempo de visionado.** Indica el tiempo que un dispositivo móvil podría estar recibiendo una señal de televisión digital en movilidad antes de agotar su batería, tomando como referencia una capacidad de 850 miliamperios por hora. Se trata de un valor estimado, ya que el tiempo de visionado real dependerá de más factores como la capacidad real de la batería, el tamaño de la pantalla del dispositivo, la configuración de brillo, etc.
- **Cambio rápido de canal.** Indica el tiempo que pasa desde que un usuario da la orden de cambiar de canal de emisión en su dispositivo móvil hasta que el cambio se produce. Las tecnologías de transmisión de señal de la televisión digital en movilidad dificultan en gran medida este proceso e intentan resolverlo empleando múltiples técnicas. Se considera que un tiempo rápido de cambio de canal es deseable y un indicativo más de calidad en el servicio.
- **Compatibilidad hacia atrás.** Indica la capacidad de un estándar de permitir la ejecución o el uso de sus servicios en versiones anteriores de la misma familia tecnológica, lo que aumenta en gran medida su potencial de implantación. Mención aparte merecen las tecnologías de transmisión de datos como 3G y WiMAX con su compatibilidad con los contenidos de Internet y sus múltiples formatos.
- **Otros.** En esta categoría incluimos varias características aisladas que consideramos contribuyen notablemente a aumentar el potencial de implantación de los estándares analizados. Destacamos la posibilidad del estándar de funcionar en SFNs (*Single Frequency Networks*), la inclusión de servicios ESG (*Electronic Services Guide*) o EPG (*Electronic Program Guide*), la capacidad de conexión Wi-Fi y la interactividad.
- **Número de usuarios.** Por último, tomamos en consideración el número de usuarios de la tecnología. Algunos de los estándares que analizamos están todavía en fase de prueba, otros fueron lanzados comercialmente y fracasaron o desaparecieron, dos de ellos han prosperado pero sólo en sus países de origen, y también los hay que van aumentando su número de usuarios en todo el mundo.

Tabla 60. Comparativa tecnológica de 8 estándares para la televisión digital en movilidad de la primera generación.

<u>Estándares / Características</u>	3G MBMS	T-DMB	ATSC M/H	MediaFLO	ISDB-T 1 Seg	WiMAX	DVB-H	DVB-SH
Año de lanzamiento	2001 (3G)	2005	2009 (aprobado FCC)	2008 Extinguido en 2010	2006	2006	2008 (aprobado UE)	2007 (Presentado)
Familia tecnológica	3G	DMB	ATSC	-	ISDB	-	DVB	DVB
Sistema de Transmisión	<i>Unicast Multicast Broadcast</i>	<i>Broadcast</i>	<i>Broadcast</i>	<i>Broadcast</i>	<i>Broadcast</i>	<i>Unicast Multicast Broadcast</i>	<i>Broadcast</i>	<i>Broadcast</i>
Red y frecuencia	UMTS UTRAN Múltiples	DAB VHF Múltiples	ATSC VHF UHF	VHF UHF	ISDB-T UHF	UHF SHF	DVB-T VHF UHF	Banda S Banda C Banda ku
Modulación	WCDMA	OFDM	8-VSB	OFDM	OFDM	OFDM	OFDM	OFDM
Ancho de banda	5 MHz	1,54 MHz	6 MHz	5, 6, 7 y 8 MHz	5,6/13=0,43 MHz	1,5-20 MHz	5, 6, 7 y 8 MHz	1,7; 5; 6; 7 y 8 MHz
Capacidad de banda	1,5 Mbps	1,2 Mbps	917 kbps (<i>chunk</i>)	15 Mbps	416 kbps	15,4 Mbps (20 MHz)	15 Mbps	15 Mbps
Tasa de transmisión máxima	Variable 2,5 Mbps	1,7 Mbps	19,39 Mbps	24 Mbps	416 kbps	19 Mbps 75 Mbps (fijo)	23,75 Mbps	--
Eficiencia espectral	0,5 bps/Hz	0,7 bps/Hz	3,2 bps/Hz	3 bps/Hz	0,96 bps/Hz	0,95 bps/Hz 3,75 bps/Hz	3 bps/Hz	1,9 bps/Hz
Canales por banda	10-20 (5 MHz)	2-3 (1,54 MHz)	<i>chunks</i>	20	1	datos	20-40	8-10
Códecs	Todos H.264	H.264	H.264	H.264	H.264	Todos	H.264	H.264
Distancia al transmisor	500 m-2 km	80 km	50 km	25 km	50 km	48-80 km	40 km	Nacional (+repetidores)
Velocidad en movilidad	+120 km/h	+120 km/h	+120 km/h	200 km/h	+200 km/h (Tren bala)	+120 km/h	+120 km/h	+120 km/h
Handover	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Sistema de ahorro de energía	WCDMA	Portadoras de 1,54 MHz	<i>Time-slicing</i>	<i>Time-slicing</i>	1/8 (6 MHz) recepción	--	<i>Time-slicing</i>	--
Tiempo de visionado (bat. 850 mAh)	4 horas	2 horas	4 horas	4 horas	4 horas	--	4 horas	--
Cambio rápido de canal	--	1,5 s	5 s	1,5 s	1,5 s	--	5 s	5 s
Compatibilidad hacia atrás	Internet Múltiples formatos	DAB	ATSC	--	ISDB-T	Internet Múltiples formatos	DVB	DVB
Otros	Wi-Fi Interactividad	SFN	SFN ESG	SFN EPG	SFN Emergencias	Wi-Fi Interactividad	SFN MFN ESG	SFN
Nº usuarios	Pruebas 0	+ 50 millones (2011)	Pruebas 0	68 millones Extinguido	124 millones (2011)	620 millones (2011)	Pruebas Ensayos 0	Pruebas 0

5.3.2. Análisis por el método DAFO de los estándares 1G

Una vez elaborada nuestra tabla comparativa, procedemos a analizar cada uno de los 8 estándares tecnológicos seleccionados aplicando el método DAFO.

El Análisis DAFO (en inglés, SWOT - *Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*), también conocido como análisis FODA o matriz DAFO, es una metodología de estudio de la situación competitiva de una organización, empresa o proyecto en su entorno (situación externa) y de las características internas (situación interna) de la misma, a efectos de determinar sus Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas.

La situación interna se compone de dos factores controlables: fortalezas y debilidades, mientras que la situación externa se compone de dos factores no controlables: oportunidades y amenazas.

El método de análisis DAFO es una herramienta simple y generalizada que facilita la toma de decisiones estratégicas. Su objetivo es ayudar a todas las partes involucradas en una actividad a encontrar sus factores estratégicos críticos para usarlos, una vez identificados, apoyando en ellos los cambios organizacionales: consolidando fortalezas, minimizando debilidades, aprovechando las oportunidades y reduciendo las amenazas.

Figura 84. Esquema de un análisis DAFO.

DAFO	Debilidades	ANÁLISIS INTERNO
	Amenazas	
	Fortalezas	ANÁLISIS EXTERNO
	Oportunidades	

Análisis externo. Una tecnología no existe ni puede existir fuera de un ambiente, el entorno que la rodea; así que el análisis externo permite fijar las oportunidades y amenazas que el contexto puede presentarle al desarrollo de esa tecnología.

Para determinar esas oportunidades o amenazas, el primer paso es establecer los principales hechos o eventos de carácter tecnológico del ambiente que tienen o podrían tener alguna relación con el desarrollo de esa tecnología, determinando además cuáles de esos factores podrían tener influencia sobre la tecnología en términos de facilitar o restringir el logro de objetivos. Es decir, hay circunstancias o hechos presentes en el

ambiente que a veces representan una buena **oportunidad** que la tecnología podría aprovechar, ya sea para desarrollarse aún más o para resolver un problema. También puede darse situaciones que representen **amenazas** para la tecnología y que puedan hacer más graves sus problemas.

Oportunidades. Es todo aquello que pueda suponer una ventaja competitiva para la tecnología, o bien representar una posibilidad para mejorar la operatividad de la misma o aumentar el número de sus usuarios.

Amenazas. Toda fuerza del entorno que pueda impedir la implantación de una estrategia, o bien reducir su efectividad, o incrementar los riesgos de la misma, o amenazar los recursos que se requieren para su implantación, o bien reducir el número de usuarios potenciales.

Análisis interno. El análisis interno permite fijar las **fortalezas** y **debilidades** de la tecnología mediante un estudio que permite conocer la cantidad y calidad de los recursos y procesos con que cuenta el sistema.

Para realizar el análisis interno de una tecnología, deben aplicarse diferentes técnicas que permitan identificar dentro de su diseño qué atributos le permiten generar una ventaja competitiva sobre el resto de sus competidores.

Debilidades. También llamadas puntos débiles, son aspectos que limitan o reducen la capacidad de desarrollo efectivo de la estrategia de la tecnología, constituyen una amenaza para su desarrollo y deben, por tanto, ser controlados y superados.

Fortalezas. También llamadas puntos fuertes, son capacidades, recursos, posiciones alcanzadas y, consecuentemente, ventajas competitivas que deben y pueden servir para explotar oportunidades.

El siguiente paso del análisis es la elaboración de una matriz DAFO para cada estándar tecnológico de acuerdo con el siguiente modelo:

Figura 85. Modelo de matriz DAFO.

	Fortalezas	Debilidades
ANÁLISIS INTERNO		
	Oportunidades	Amenazas
ANÁLISIS EXTERNO		

De la combinación de fortalezas con oportunidades surgen las **potencialidades**, que señalan las líneas de acción más prometedoras para la tecnología.

Las **limitaciones**, determinadas por una combinación de debilidades y amenazas, suponen un grave riesgo para el desarrollo de la tecnología.

Mientras que los **riesgos** (combinación de fortalezas y amenazas) y los **desafíos** (combinación de debilidades y oportunidades) exigirán una cuidadosa consideración a la hora de marcar el rumbo que el desarrollo de la tecnología deberá asumir en el futuro.

Factores de análisis externo

Para el análisis externo de los 8 estándares para la televisión digital en movilidad seleccionados, hemos considerado los siguientes factores:

1. Año de lanzamiento
2. Familia tecnológica
3. Red y frecuencia
4. *Handover*
5. *Códecs*
6. Compatibilidad hacia atrás
7. Número de usuarios
8. Otros

- **Año de lanzamiento.** Consideraremos que aquellos estándares cuyo origen es anterior al año 2006 tienen una ventaja por antigüedad, los de 2006 no tienen ni ventajas ni desventajas y los posteriores a 2006 están en desventaja.
- **Familia tecnológica.** Consideraremos que los estándares que pertenecen a una familia tecnológica tienen ventaja sobre aquellos que han surgido como una nueva tecnología.
- **Red y frecuencia.** Consideraremos una oportunidad el que el estándar pueda utilizar, total o parcialmente, la red de una versión anterior de su misma familia tecnológica, así como múltiples radiofrecuencias. El depender de las saturadas bandas VHF y UHF para la transmisión se considera una amenaza.
- **Handover.** La capacidad de *handover* constituye una oportunidad para todos los estándares para la televisión digital en movilidad.
- **Códecs.** La mayoría de sistemas para la televisión digital en movilidad se basan en el empleo del *códec* MPEG-4/AVC/H.264, por lo que sólo consideraremos que tienen ventaja aquellos sistemas que permitan el funcionamiento con múltiples *códecs*, o que empleen *códecs* más avanzados que H.264.
- **Compatibilidad hacia atrás.** Dado que casi todos los estándares analizados son compatibles con las versiones anteriores de su misma familia tecnológica, sólo consideraremos que tienen una oportunidad aquellos sistemas que puedan conectarse a Internet; y consideraremos una amenaza el no pertenecer a una familia tecnológica.
- **Número de usuarios.** Sólomente tenemos en cuenta el número de usuarios en el momento de la fecha en que se realiza este estudio (mayo de 2015), y otorgamos la ventaja a aquellos sistemas que ya han sido implantados. MediaFLO es un caso aparte, ya que el sistema está extinguido y se analiza por su relevancia tecnológica e histórica, por lo que tenemos en cuenta su número de usuarios antes de desaparecer.
- **Otros.** Consideraremos que cada característica extra que figura en la categoría de «Otros» de la tabla comparativa constituye una oportunidad más para ese estándar.

Factores de análisis interno

Para el análisis interno de las tecnologías para la televisión digital en movilidad, hemos considerado los siguientes factores:

1. Sistema de transmisión
2. Modulación
3. Ancho de banda
4. Capacidad de banda
5. Tasa de transmisión máxima
6. Eficiencia espectral
7. Canales por banda
8. Distancia al transmisor
9. Velocidad en movilidad
10. Tiempo de visionado
11. Sistema de ahorro de energía
12. Cambio rápido de canal

- **Sistema de transmisión.** Consideramos que un requisito para poder hablar de difusión de televisión digital en movilidad es la transmisión *broadcast* o *multicast*, por lo que sólo daremos ventaja a aquellos sistemas que tengan además la opción de establecer una conexión *unicast*.
- **Modulación.** Consideramos que el estar basado en alguna variedad de la técnica de modulación basada en la *Multiplexación* por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM) es una fortaleza para un sistema, ya que es una de las más utilizadas y facilita la implantación de los sistemas en otros territorios.
- **Ancho de banda.** Consideramos que están en desventaja aquellas tecnologías con anchos de banda inferiores a los 5 MHz, y que tienen ventaja los sistemas con anchos de banda superiores a los 6 MHz o con la capacidad de funcionar en varios anchos de banda.
- **Capacidad de banda.** Consideramos que tienen ventaja aquellos sistemas con una capacidad de transmisión superior a 15 Mbps, y que están en desventaja aquellos cuya capacidad de transmisión no supera 1 Mbps.

- **Tasa de transmisión máxima.** Consideramos que tienen ventaja aquellos sistemas con una capacidad de transmisión máxima de más de 15 Mbps, y que están en desventaja aquellos cuya capacidad de transmisión no supera 1 Mbps.
- **Eficiencia espectral.** Consideramos que son muy eficientes aquellos sistemas con una tasa de eficiencia espectral superior a 2, y muy poco eficientes aquellos sistemas con una tasa inferior a 1.
- **Canales por banda.** Consideramos que tienen ventaja aquellos sistemas capaces de acomodar más de 10 canales por banda, y que están en desventaja a los que no pueden acomodar a 5 como mínimo.
- **Distancia al transmisor.** Tendrán ventaja aquellos sistemas capaces de superar los 50 km de distancia entre el emisor y el receptor, y desventaja los que no superen los 20 km de distancia máxima.
- **Velocidad en movilidad.** Todos los sistemas de televisión digital en movilidad permiten la recepción a más de 120 km/h, por lo que sólo otorgaremos ventaja a aquellos estándares que superen ampliamente esa velocidad.
- **Sistema de ahorro de energía.** Hemos visto que existen varias técnicas para el ahorro de energía en los dispositivos móviles, pero la que ha demostrado ser más eficaz hasta la fecha es la de *time-slicing*, por lo que otorgamos la ventaja a los sistemas que emplean esta tecnología y la desventaja a los sistemas que no emplean ninguna tecnología.
- **Tiempo de visionado.** En esta categoría la media es de 4 horas, por lo que consideraremos que tiene ventaja el sistema que supere esa marca, y que estará en desventaja el sistema que no la alcance.
- **Cambio rápido de canal.** Consideramos que tienen ventaja aquellos sistemas capaces de conseguir el cambio rápido de canal en menos de 5s, y que están en desventaja los sistemas que no emplean ninguna técnica para el cambio rápido de canal.

A continuación, elaboraremos la matriz DAFO para los estándares 3G MBMS, T-DMB, ATSC M/H, MediaFLO, ISDB-T 1 Seg, WiMAX, DVB-H y DVB-SH siguiendo los criterios de análisis externo e interno anteriormente expuestos. Así identificaremos cuáles son las Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades de cada estándar. Después, los confrontaremos en una matriz comparativa con el objetivo de deducir cual

es el estándar tecnológicamente mejor diseñado de cara a su implantación.

5.3.2.1. Análisis DAFO de 3G MBMS

3G MBMS (*3G Multimedia Broadcast Multicast Service*)

Tabla 61. Análisis DAFO de 3G MBMS.

Análisis DAFO de 3G MBMS		
	Fortalezas	Debilidades
ANÁLISIS INTERNO	Sistema de transmisión	Eficiencia espectral Distancia al transmisor Cambio rápido de canal
	Oportunidades	Amenazas
ANÁLISIS EXTERNO	Año de lanzamiento Familia tecnológica Red y frecuencia <i>Handover</i> <i>Códecs</i> Compatibilidad hacia atrás Otros (Wi-Fi) Otros (Interactividad)	Nº de usuarios

El sistema 3G MBMS tiene entre sus principales potenciales el ser un estándar de radiodifusión capaz de funcionar en *unicast*, *multicast* y *broadcast*. MBMS surgió con la idea de proporcionar servicios *broadcast* vía redes 3G, lo que permitiría incluir a la televisión digital entre los servicios de multimedia masivos de las operadoras 3G pero, como se puede observar en el análisis, el sistema no tiene otras fortalezas más allá de su capacidad *unicast*. El resto de sus potencialidades se deben a factores externos como el ser un perfil de una tecnología consolidada (3G) y anterior a 2005, el poder emplear múltiples frecuencias para su transmisión, la capacidad de *handover* y sus múltiples oportunidades de compatibilidad con cualquier contenido, *códec* y formato de Internet. Completan sus potencialidades la capacidad de conexión Wi-Fi y la interactividad.

Las principales limitaciones del sistema MBMS son una escasa eficiencia espectral y que hereda como vía de transporte a las redes 3G. Aunque en este caso pueda parecer una ventaja el emplear una red ya desplegada y en funcionamiento, las redes 3G permiten muy poco espacio entre transmisores (menos de 2 km), lo que resulta una desventaja debido al inmenso coste de despliegue de estas redes que sólo las hace adecuadas para entornos urbanos densamente poblados. El carecer de un sistema de

cambio rápido de canal y no contar con ningún número de usuarios a día de hoy completa la lista de limitaciones.

5.3.2.2. Análisis DAFO de T-DMB

T-DMB (*Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting*)

Tabla 62. Análisis DAFO de T-DMB.

Análisis DAFO de T-DMB		
	Fortalezas	Debilidades
ANÁLISIS INTERNO	Modulación Distancia al transmisor Cambio rápido de canal	Ancho de banda Canales por banda Tiempo de visionado
	Oportunidades	Amenazas
ANÁLISIS EXTERNO	Año de lanzamiento Familia tecnológica Red y frecuencia Red y frecuencia <i>Handover</i> Otros (SFN) Nº de usuarios	Red y frecuencia

El sistema T-DMB cuenta entre sus potencialidades con emplear la modulación OFDM que le permite operar en SFNs, el permitir una gran distancia entre transmisor y receptor, y el emplear una técnica para el cambio rápido de canal. Además, fue el primer estándar tecnológico para la difusión de televisión digital en movilidad por redes terrestres del mundo, pertenece a una familia tecnológica muy consolidada con el sistema DAB ya funcionando en múltiples frecuencias en multitud de países, y cuenta con un gran número de usuarios en Corea del Sur donde es un estándar apoyado por el gobierno.

Las limitaciones del sistema T-DMB se deben, casi todas, a sus escasas prestaciones. T-DMB cuenta con un ancho de banda muy limitado que apenas puede albergar canales y, pese a utilizar una portadora de sólo 1,54 MHz, no permite más de dos horas de visionado con una batería estándar. Por último, la implantación de este estándar se ve levemente limitada por depender mayoritariamente de la banda VHF para transmitir.

5.3.2.3. Análisis DAFO de ATSC M/H

ATSC M/H (*Advanced Television Systems Committee Mobile/Handheld*)

Tabla 63. Análisis DAFO de ATSC M/H.

Análisis DAFO de ATSC M/H		
	Fortalezas	Debilidades
ANÁLISIS INTERNO	Tasa de transmisión máxima Eficiencia espectral Sistema de ahorro de energía	
	Oportunidades	Amenazas
ANÁLISIS EXTERNO	Familia tecnológica Red y frecuencia <i>Handover</i> Otros (SFN) Otros (ESG)	Año de lanzamiento Red y frecuencia Red y frecuencia Nº de usuarios

El sistema ATSC M/H cuenta con muchas potencialidades entre las que destacan la solidez de su capa física con su gran tasa de transmisión de datos, su alta eficiencia espectral y su sistema de ahorro de energía basado en la técnica de *time-slicing*. Le ayuda también el formar parte de una familia tecnológica consolidada, que ya tiene radiofrecuencias asignadas en el territorio de los Estados Unidos. Además, a pesar de no emplear la modulación OFDM, es capaz de funcionar en redes SFN y puede proporcionar servicios ESG.

Las únicas limitaciones del sistema ATSC M/H le vienen en forma de amenazas externas, y es que se trata de un sistema que ha tenido un desarrollo muy tardío, que depende exclusivamente de las bandas VHF y UHF para su funcionamiento, y que no cuenta con ningún número de usuarios en la actualidad.

5.3.2.4. Análisis DAFO de MediaFLO

MediaFLO (*Media Forward Link Only*)

Tabla 64. Análisis DAFO de MediaFLO.

Análisis DAFO de MediaFLO		
	Fortalezas	Debilidades
ANÁLISIS INTERNO	Modulación Ancho de banda Capacidad de banda Tasa de transmisión máxima Eficiencia espectral Canales por banda Velocidad en movilidad Sistema de ahorro de energía Cambio rápido de canal	
	Oportunidades	Amenazas
ANÁLISIS EXTERNO	<i>Handover</i> Otros (SFN) Otros (EPG) N° de usuarios	Año de lanzamiento Familia tecnológica Red y frecuencia Red y frecuencia Compatibilidad hacia atrás

El sistema MediaFLO también tiene su origen en los Estados Unidos y, al igual que ATSC M/H, cuenta con muchas potencialidades y ninguna limitación de carácter interno, aunque sí varias amenazas. MediaFLO emplea la modulación OFDM y puede funcionar en redes SFN, lo que facilita mucho su implantación. Posee una de las capas físicas más sólidas de todos los estándares de la primera generación, con la capacidad de funcionar en varios anchos de banda, una amplia capacidad de banda, una gran tasa de transmisión máxima y una eficiencia espectral sobresaliente, además de una alta velocidad en movilidad, un sistema de ahorro de energía basado en la técnica *time-slicing* y la posibilidad de cambiar de canal en 1,5 segundos. Todas estas cualidades se reflejan en el hecho de que alcanzase la cifra de 68 millones de usuarios en los Estados Unidos en sus escasos tres años de vida.

Las limitaciones del sistema MediaFLO consisten sólo en amenazas externas, siendo las principales un lanzamiento tardío y el que no perteneciera a ninguna familia tecnológica o estándar anterior, lo que limitaba sus opciones de compatibilidad hacia atrás con otros sistemas y redes. Además, el sistema MediaFLO dependía de las saturadas y demandadas bandas VHF y UHF para transmitir.

5.3.2.5. Análisis DAFO de ISDB-T 1 Seg

ISDB-T 1 Seg (*Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial 1 Segment*)

Tabla 65. Análisis DAFO de ISDB-T 1 Seg.

Análisis DAFO de ISDB-T 1 Seg		
	Fortalezas	Debilidades
ANÁLISIS INTERNO	Modulación Velocidad en movilidad Cambio rápido de canal	Ancho de banda Capacidad de banda Tasa de transmisión máxima Eficiencia espectral Canales por banda
	Oportunidades	Amenazas
ANÁLISIS EXTERNO	Familia tecnológica Red y frecuencia <i>Handover</i> Otros (SFN) Otros (Emergencias) Nº de usuarios	Red y frecuencia

El sistema ISDB-T 1 Seg basa sus principales potencialidades en las oportunidades de implantación que le ofrecía su entorno como el pertenecer a una familia tecnológica consolidada, lo que le permite emplear sus redes de difusión ya establecidas y contar con un buen número de usuarios desde el principio. Además, gracias a su modulación OFDM, puede funcionar en redes SFN, tiene una velocidad en movilidad superior a la de sus rivales (se diseñó pensando en el tren bala japonés) e incluye un sistema de cambio rápido de canal.

Las mayores limitaciones al sistema ISDB-T 1 Seg le llegan por no tener una capa física lo suficientemente sólida, que sólo emplea una parte del ancho de banda del sistema ISDB-T, y que tiene un ancho de banda muy limitado, con una escasa capacidad y tasa de transmisión máxima, poca eficiencia espectral e incapaz de acomodar un número significativo de canales. Su única limitación de carácter externo es que depende de la saturada banda UHF para funcionar.

5.3.2.6. Análisis DAFO de WiMAX

WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*)

Tabla 66. Análisis DAFO de WiMAX.

Análisis DAFO de WiMAX		
	Fortalezas	Debilidades
ANÁLISIS INTERNO	Sistema de transmisión Modulación Ancho de banda Capacidad de banda Tasa de transmisión máxima Eficiencia espectral Distancia al transmisor	Sistema de ahorro de energía Cambio rápido de canal
	Oportunidades	Amenazas
ANÁLISIS EXTERNO	<i>Handover</i> <i>Códecs</i> Compatibilidad hacia atrás	Familia tecnológica Red y frecuencia Compatibilidad hacia atrás

El sistema WiMAX no es un estándar tecnológico para la televisión digital en movilidad propiamente dicho, pero alberga un gran potencial para la difusión de multimedia en movilidad y tiene capacidad de transmisión en *unicast*, *multicast* y *broadcast*. Gracias a su capa sólida, WiMAX posee un gran ancho de banda completamente adaptable, una amplia capacidad, gran tasa de transmisión máxima y buena eficiencia espectral. El sistema también permite una gran distancia entre transmisor y receptor, y es compatible con los contenidos de Internet y sus múltiples *códecs* y formatos.

Entre sus limitaciones destacan, por su carácter intrínseco, la ausencia de un sistema de ahorro de energía y de cambio rápido de canal; y por su carácter extrínseco, el que no pertenece a ninguna familia tecnológica, lo que impide su compatibilidad hacia atrás, y que confía para funcionar, en parte, en el uso de la banda UHF.

5.3.2.7. Análisis DAFO de DVB-H

DVB-H (*Digital Video Broadcasting–Handheld*)

Tabla 67. Análisis DAFO de DVB-H.

Análisis DAFO de DVB-H		
	Fortalezas	Debilidades
ANÁLISIS INTERNO	Modulación Ancho de banda Tasa de transmisión máxima Eficiencia espectral Canales por banda Sistema de ahorro de energía	
	Oportunidades	Amenazas
ANÁLISIS EXTERNO	Familia tecnológica Red y frecuencia <i>Handover</i> Compatibilidad hacia atrás Otros (SFN) Otros (MFN) Otros (ESG)	Año de lanzamiento Red y frecuencia Red y frecuencia N° de usuarios

DVB-H es un sistema con múltiples potencialidades entre las que destaca su capa sólida con su gran ancho de banda, su tasa de transmisión máxima y su eficiencia espectral capaz de acomodar un gran número de canales por banda. El diseño del sistema tampoco olvida el incluir una tecnología de ahorro de energía basada en la técnica de *time-slicing* y un sistema de cambio rápido de canal, que no obtiene tan buenos resultados como el de otros estándares y por lo tanto no le da ventaja. DVB-H, además, pertenece a la familia de estándares audiovisuales más consolidada del mundo, es compatible hacia atrás y puede funcionar en SFN gracias a la modulación OFDM. También incluye un servicio ESG.

A DVB-H le llegan todas las limitaciones en forma de amenazas. Fue un estándar de lanzamiento tardío que, tras una serie de tímidos intentos comerciales, a día de hoy se considera un fracaso y no cuenta con usuarios, y que dependía de las colapsadas bandas VHF y UHF para funcionar.

5.3.2.8. Análisis DAFO de DVB-SH

DVB-SH (*Digital Video Broadcasting–Satellite Handheld*)

Tabla 68. Análisis DAFO de DVB-SH.

Análisis DAFO de DVB-SH		
	Fortalezas	Debilidades
ANÁLISIS INTERNO	Modulación Ancho de banda Eficiencia espectral Distancia al transmisor	Sistema de ahorro de energía
	Oportunidades	Amenazas
ANÁLISIS EXTERNO	Familia tecnológica Red y frecuencia <i>Handover</i> Otros (SFN)	Año de lanzamiento

El sistema DVB-SH es el único sistema híbrido (satélite-terrestre) que analizamos en detalle en este trabajo. Entre sus potencialidades destaca la capacidad de ancho de banda y la eficiencia espectral de su capa sólida. También obtiene ventaja del empleo de la modulación OFDM que le permite funcionar en SFNs y por pertenecer a la familia tecnológica más consolidada del mundo. Pero sobre todo, destaca por su capacidad de alcance capaz de superar el territorio de una nación de tamaño medio.

Las limitaciones tecnológicas del sistema son su tardío año de lanzamiento y el carecer de un sistema de ahorro de energía.

5.3.2.9. Comparativa DAFO de los estándares 1G

A continuación, elaboraremos una tabla en la que compararemos los resultados obtenidos en los análisis DAFO de los estándares para la televisión digital en movilidad de la primera generación. La metodología seguida ha consistido en situar en la parte superior de la tabla las Fortalezas y Oportunidades, y sumar un punto por cada una que hayamos identificado en cada estándar. Debajo hemos puesto las Debilidades y Amenazas, y restado un punto por cada una que figura en el análisis DAFO del estándar en cuestión. El resultado final de la operación aparece en la última fila de la tabla y nos da una idea de qué estándares tecnológicos de la primera generación tenían mejores opciones de implantación desde una perspectiva tecnológica.

Tabla 69. Comparativa DAFO de los estándares de la primera generación.

Comparativa DAFO de los estándares 1G								
<u>Estándares</u> / <u>DAFO</u>	3G MBMS	T-DMB	ATSC M/H	MediaFLO	ISDB-T 1 Seg	WiMAX	DVB-H	DVB-SH
FORTALEZAS (+)	1	3	3	9	3	7	6	4
OPORTUNIDADES (+)	8	7	5	4	6	3	7	4
DEBILIDADES (-)	3	3	0	0	5	2	0	1
AMENAZAS (-)	1	1	4	5	1	3	4	1
TOTAL	5	6	4	8	3	5	9	6

Resulta llamativo al observar los resultados de la tabla el que los dos estándares que obtienen una mayor puntuación, MediaFLO (8) y DVB-H (9), hayan fracasado en su implantación y estén extinguidos a día de hoy. Nótese también que la puntuación más baja corresponde al estándar ISDB-T 1 Seg (3) que es, junto con el estándar T-DMB (6), el único de los que figura en la lista que ha conseguido implantarse con éxito.

5.3.3. Análisis comparativo de los estándares de la segunda generación

El siguiente paso que daremos en nuestro análisis comparativo de los estándares tecnológicos para la televisión digital en movilidad será el hacer una selección de los estándares más representativos de la llamada segunda generación de sistemas para la televisión digital en movilidad. Los estándares que hemos seleccionado, salvo con algunas excepciones, son la evolución de los estándares de la primera generación que analizamos anteriormente:

- **LTE eMBMS** (*3G Long Term Evolution enhanced Multimedia Broadcast Multicast Service*). Es la evolución del sistema 3G MBMS.
- **AT-DMB** (*Advanced Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting*). Es la evolución del sistema T-DMB.
- **DTMB** (*Digital Terrestrial Multimedia Broadcast*). Es un estándar de televisión digital terrestre y en movilidad que se ha impuesto en China por encima de su competidor CMMB (*China Mobile Multimedia Broadcasting*).
- **ATSC 3.0** (*Advanced Television Systems Committee 3.0*). Es la evolución del sistema ATSC M/H.
- **ISDB-Tmm** (*Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial multimedia*). Es la evolución del sistema ISDB-T 1 Seg, y está superando en su implantación a su competidor ISDB-T_{SB} (*Sound Broadcasting*).
- **WiMAX** (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*).
- **DVB-NGH** (*Digital Video Broadcasting–Next Generation Handheld*). Es la evolución del sistema DVB-H.
- **DVB-SH** (*Digital Video Broadcasting–Satellite Handheld*).

Nótese que desaparece MediaFLO y aparece el sistema chino DTMB. El resto de estándares de la lista son evoluciones de los estándares de la primera generación, salvo WiMAX y DVB-SH que continúan en la carrera por conseguir su implantación como estándares para la televisión digital en movilidad.

A continuación, elaboraremos una tabla en la que aparecerán los 8 estándares tecnológicos de la segunda generación que hemos seleccionado, y en la que se indicarán las mismas 20 características tecnológicas que contemplamos en la tabla comparativa de

los estándares de la primera generación. Añadimos también una nueva fila por encima de la tabla que indica el estándar de la primera generación que precede al estándar de la segunda generación, si se da el caso.

Téngase en cuenta que la mayoría de estándares de la segunda generación se encuentran todavía en fase de diseño o desarrollo, y que, en muchos casos, todavía no conocemos todos sus parámetros técnicos completos, por lo que hemos elaborado la siguiente tabla basándonos en las características técnicas, casi todas relativas a la capa física, que ya han sido publicadas por los distintos organismos de estandarización, y hemos sombreado las casillas de la tabla en las que incluimos esos datos. Las casillas sin sombrear indican que hemos mantenido los datos conocidos del estándar anterior. Nótese también que tampoco hemos modificado el año de lanzamiento de los distintos sistemas, manteniendo el de sus estándares originales. Por último, debemos indicar también que cuando en la categoría «Canales por banda» indicamos «+10», estamos haciendo una estimación personal basándonos en la capacidad de banda de esos estándares porque todavía no hay datos al respecto.

Tabla 70. Comparativa tecnológica de 8 estándares para la televisión digital en movilidad de la segunda generación.

1G	3G MBMS	T-DMB	Nuevo	ATSC M/H	ISDB-T 1 Seg	WiMAX =	DVB-H	DVB-SH =
Estándares 2G / Características	LTE (4G) eMBMS	AT-DMB	DTMB	ATSC 3.0	ISDB-Tmm	WiMAX	DVB-NGH	DVB-SH
Año de lanzamiento	2001 (3G)	2005	2006	2009 (aprobado FCC)	2006	2006	2008 (aprobado UE)	2007 (Presentado)
Familia tecnológica	3G	DMB	ADTB-T China	ATSC	ISDB	-	DVB	DVB
Sistema de Transmisión	<i>Unicast Multicast Broadcast</i>	<i>Broadcast</i>	<i>Broadcast</i>	<i>Broadcast</i>	<i>Broadcast</i>	<i>Unicast Multicast Broadcast</i>	<i>Broadcast</i>	<i>Broadcast</i>
Red y frecuencia	E-UTRA Múltiples	DAB VHF Múltiples	VHF	ATSC VHF UHF	ISDB-T VHF	UHF SHF	DVB-T2 UHF Banda LyS	Banda S Banda C Banda ku
Modulación	OFDM	OFDM	OFDM	OFDM	OFDM	OFDM	OFDM	OFDM
Ancho de banda	10 MHz	1,54 MHz	8 MHz	6 MHz	6,7 y 8 MHz	1,5-20 MHz	1,7-20 MHz	1,7; 5; 6; 7 y 8 MHz
Capacidad de banda	16,9 Mbps	2,3 Mbps	32,9 Mbps	25,2 Mbps	561 kbps-7,3 Mbps	15,4 Mbps (20 MHz)	+15 Mbps	15 Mbps
Tasa de transmisión máxima	+17 Mbps	2,8 Mbps	32,9 Mbps	28 Mbps	7,3 Mbps	19 Mbps 75 Mbps (fijo)	23,75+50% =35,6 Mbps	--
Eficiencia espectral	1,7 bps/Hz	1,8 bps/Hz	4,1 bps/Hz	4,7 bps/Hz	0,96 bps/Hz	0,95 bps/Hz 3,75 bps/Hz	+1 bps/Hz	1,9 bps/Hz
Canales por banda	+10	2-3 (1,54 MHz)	6-15 SD 1-2 HD	+10	+10	datos	+10	8-10
Códecs	Todos MPEG-DASH	SVC	H.264	H.265	H.264	Todos	SVC	H.264
Distancia al transmisor	500 m-2 km	80 km	40+10 km	50 km	50 km	48-80 km	40 km	Nacional (+repetidores)
Velocidad en movilidad	+120 km/h	+120 km/h	+200 km/h	+120 km/h	+200 km/h (Tren bala)	+120 km/h	+350 km/h	+120 km/h
Handover	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Sistema de ahorro de energía	SC-FDMA	Portadoras de 1,54 MHz	--	<i>Time-slicing</i>	--	--	<i>Time-slicing</i>	--
Tiempo de visionado (bat. 850 mAh)	4 horas	2 horas	--	4 horas	4 horas	--	4 horas	--
Cambio rápido de canal	--	1,5 s	--	5 s	1,5 s	--	5 s	5 s
Compatibilidad hacia atrás	Internet Múltiples formatos	DAB	ADTB-T DMB-T TiMi	No	ISDB-T	Internet Múltiples formatos	Internet* DVB DVB-T2	DVB
Otros	SFN Wi-Fi Interactividad	SFN	SFN MFN EPG	SFN ESG	SFN Emergencias	Wi-Fi Interactividad	SFN MFN ESG	SFN
Nº usuarios	Pruebas 0	Pruebas Sí*	Sí	Pruebas 0	Sí	620 millones (2011)	Pruebas 0	Pruebas 0

*DVB-NGH contempla la opción de añadir un canal de comunicaciones vía redes 3GPP.

*AT-DMB todavía no tiene usuarios, pero consideramos que sí los tiene ya que esta tecnología no requiere de ningún tipo de adaptación por parte de los usuarios para su implantación. El sistema AT-DMB se implementará y heredará automáticamente los usuarios del sistema T-DMB anterior.

5.3.4. Análisis por el método DAFO de los estándares 2G

A continuación, elaboraremos la matriz DAFO para los estándares LTE eMBMS, AT-DMB, DTMB, ATSC 3.0, ISDB-Tmm y DVB-NGH siguiendo los mismos criterios de análisis externo e interno que empleamos con los estándares de la primera generación.

5.3.4.1. Análisis DAFO de LTE eMBMS

LTE eMBMS (3G *Long Term Evolution enhanced Multimedia Broadcast Multicast Service*)

Tabla 71. Análisis DAFO de LTE eMBMS.

Análisis DAFO de LTE eMBMS		
	Fortalezas	Debilidades
ANÁLISIS INTERNO	Sistema de transmisión Modulación Ancho de banda Capacidad de banda Tasa de transmisión máxima Canales por banda	Distancia al transmisor Cambio rápido de canal
	Oportunidades	Amenazas
ANÁLISIS EXTERNO	Año de lanzamiento Familia tecnológica Red y frecuencia <i>Handover</i> <i>Códecs</i> Compatibilidad hacia atrás Otros (SFN) Otros (Wi-Fi) Otros (Interactividad)	Nº de usuarios

LTE es la evolución de las tecnologías 3G, y eMBMS la evolución del sistema MBMS. Este nuevo sistema basa gran parte de su potencial en el fortalecimiento de su capacidad física que amplía notablemente su ancho y capacidad de banda, y que permite una tasa de transmisión de datos máxima capaz de acomodar varios canales de vídeo con una buena resolución. El estándar eMBMS también adopta la modulación OFDM para poder operar en redes SFN, y mantiene su ventaja por ser un sistema de transmisión con capacidad *unicast*, *multicast* y *broadcast*. En el aspecto externo, se beneficia de pertenecer a la familia de tecnologías definidas por el 3GPP que llevan años implantándose en todo el mundo, de su capacidad de funcionar en múltiples frecuencias, del uso que hace del nuevo y avanzado *códec* MPEG-DASH, de su compatibilidad con todos los formatos de Internet, de su capacidad de conexión Wi-Fi y de sus

posibilidades de ofrecer servicios interactivos.

El sistema eMBMS mantiene tres limitaciones de su antecesor: el problema de la alta densidad de las redes de transmisión LTE con su reducida distancia entre transmisores que las hace adecuadas sólo para las áreas densamente pobladas, el carecer de un sistema de cambio rápido de canal y el ser una tecnología en pruebas que no cuenta con ningún usuario a día de hoy.

5.3.4.2. Análisis DAFO de AT-DMB

AT-DMB (*Advanced Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting*)

Tabla 72. Análisis DAFO de AT-DMB.

Análisis DAFO de AT-DMB		
	Fortalezas	Debilidades
ANÁLISIS INTERNO	Modulación Distancia al transmisor Cambio rápido de canal	Ancho de banda Canales por banda Tiempo de visionado
	Oportunidades	Amenazas
ANÁLISIS EXTERNO	Año de lanzamiento Familia Tecnológica Red y frecuencia Red y frecuencia <i>Handover</i> <i>Códecs</i> Nº de usuarios Otros (SFN)	Red y frecuencia

El sistema AT-DMB es la evolución de T-DMB, y mejora varios aspectos de la limitada capa física de su antecesor sin obtener grandes resultados. Las principales potencialidades de AT-DMB continúan siendo de carácter externo, manteniendo sus ventajas por ser uno de los primeros estándares para la televisión digital en movilidad, por su capacidad de funcionar en las mismas bandas de frecuencia que la muy extendida tecnología DAB y por contar con un buen número de usuarios de T-DMB en Corea del Sur que adoptarán este nuevo sistema en cuanto se implante. La única novedad consiste en la adopción del avanzado *códec* de vídeo SVC. Las leves mejoras llevadas a cabo a nivel de la capa física no consiguen aumentar sustancialmente las fortalezas del sistema, que mantiene únicamente aquellas con las que contaba por emplear la modulación OFDM, por permitir una gran distancia entre emisor y receptor, y por su sistema de

cambio rápido de canal.

El estándar AT-DMB hereda las mismas limitaciones de su antecesor: un escaso ancho de banda incapaz de acomodar el número necesario de canales para poder ofertar un servicio atractivo, no soluciona el escaso tiempo de visionado debido a no contar con un sistema de ahorro de energía eficiente y sigue dependiendo, en parte, de la banda VHF para transmitir.

5.3.4.3. Análisis DAFO de DTMB

DTMB (*Digital Terrestrial Multimedia Broadcast*)

Tabla 73. Análisis DAFO de DTMB.

Análisis DAFO de DTMB		
	Fortalezas	Debilidades
ANÁLISIS INTERNO	Modulación Ancho de banda Capacidad de banda Tasa de transmisión máxima Eficiencia espectral Canales por banda Velocidad en movilidad	Sistema de ahorro de energía Cambio rápido de canal
	Oportunidades	Amenazas
ANÁLISIS EXTERNO	Familia tecnológica (China)* <i>Handover</i> N° de usuarios Otros (SFN) Otros (MFN) Otros (EPG)	Red y frecuencia

DTMB es un estándar de televisión digital terrestre compatible con la recepción en dispositivos móviles que fue creado en 2006 y que se está imponiendo a su competidor CMMB. Cuenta con muchas potencialidades, casi todas derivadas del robusto diseño de su capa física, que proporciona un gran ancho y capacidad de banda, con una gran tasa de transmisión de datos y una sobresaliente eficiencia espectral. El sistema puede acomodar más de diez canales en SD, y hasta dos canales en HD. Además, proporciona una velocidad en movilidad superior, y emplea técnicas de modulación OFDM para poder transmitir en SFN. En el nivel externo, cabe destacar que DTMB es una fusión de otras tres tecnologías de difusión chinas, que ya cuenta con usuarios y que puede proporcionar servicios EPG.

Las limitaciones del sistema DTMB pasan por carecer de sistema de ahorro de energía y de cambio rápido de canal. Otra desventaja es su dependencia de la banda VHF para transmitir.

5.3.4.4. Análisis DAFO de ATSC 3.0

ATSC 3.0 (*Advanced Television Systems Committee 3.0*)

Tabla 74. Análisis DAFO de ATSC 3.0.

Análisis DAFO de ATSC 3.0		
	Fortalezas	Debilidades
ANÁLISIS INTERNO	Modulación Capacidad de banda Tasa de transmisión máxima Eficiencia espectral Canales por banda Sistema de ahorro de energía	
	Oportunidades	Amenazas
ANÁLISIS EXTERNO	Familia tecnológica Red y frecuencia <i>Handover</i> <i>Códec</i> Otros (SFN) Otros (ESG)	Año de lanzamiento Red y frecuencia Red y frecuencia Compatibilidad hacia atrás Nº de usuarios

El sistema ATSC 3.0 es la evolución del sistema ATSC M/H y mejora en gran medida las potencialidades de su antecesor. Las dos mayores novedades del nuevo estándar son la adopción de la modulación OFDM, aunque su técnica de modulación anterior 8-VSB también permitía transmitir en SFNs, y el empleo que hace del avanzado *códec* de vídeo H.265 de MPEG. El resto de sus potencialidades se deben, en su mayoría, al diseño de una sólida capa física capaz de proporcionar un buen ancho y capacidad de banda, con una gran tasa de transmisión máxima y una sobresaliente eficiencia espectral que debería permitir acomodar un buen número de canales. ATSC 3.0 continúa empleando la técnica de *time-slicing* como sistema de ahorro de energía.

El estándar ATSC 3.0 no tiene limitaciones de carácter interno, pero sí que tiene una muy importante de carácter externo y es que el sistema no contempla la compatibilidad hacia atrás con otros estándares de la familia ATSC, lo que podría dificultar enormemente su implantación. También hay que tener en cuenta su tardío desarrollo frente a otros estándares que ya tienen usuarios, y que sigue dependiendo para transmitir

de las bandas VHF y UHF. Todos estos factores juntos suman una buena colección de amenazas para el sistema ATSC 3.0.

5.3.4.5. Análisis DAFO de ISDB-Tmm

ISDB-Tmm (*Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial multimedia*)

Tabla 75. Análisis DAFO de ISDB-Tmm.

Análisis DAFO de ISDB-Tmm		
	Fortalezas	Debilidades
ANÁLISIS INTERNO	Modulación Ancho de banda Canales por banda Velocidad en movilidad Cambio rápido de canal	Eficiencia espectral Sistema de ahorro de energía
	Oportunidades	Amenazas
ANÁLISIS EXTERNO	Familia tecnológica Red y frecuencia <i>Handover</i> Nº de usuarios Otros (SFN) Otros (Emergencias)	Red y frecuencia

ISDB-Tmm es la evolución del sistema ISDB-T 1 Seg y su principal aportación tecnológica consiste en que el sistema ahora permite emplear cualquier combinación de los 13 segmentos del ancho de banda de ISDB-T para el transporte de televisión digital en movilidad, lo que amplía notablemente las capacidades del sistema. Sus potencialidades se deben a la ampliación del ancho banda disponible que ahora permite acomodar más canales, a su velocidad en movilidad, a su sistema de cambio rápido de canal y a su modulación en OFDM que permite transmitir en SFN. También obtiene ventaja del hecho de que no requiere de ninguna adaptación por parte del receptor para su implantación, y porque ya cuenta con un buen número de usuarios. El sistema aporta además un servicio propio de información en caso de emergencias.

Las limitaciones de ISDB-Tmm se deben a su mediocre eficiencia espectral, a no contar con un sistema de ahorro de energía y por depender de la saturada banda VHF para transmitir.

5.3.4.5. Análisis DAFO de DVB-NGH

DVB-NGH (*Digital Video Broadcasting–Next Generation Handheld*)

Tabla 76. Análisis DAFO de DVB-NGH.

Análisis DAFO de DVB-NGH		
	Fortalezas	Debilidades
ANÁLISIS INTERNO	Modulación Ancho de banda Capacidad de banda Tasa de transmisión máxima Canales por banda Velocidad en movilidad Sistema de ahorro de energía	
	Oportunidades	Amenazas
ANÁLISIS EXTERNO	Familia tecnológica Red y frecuencia Red y frecuencia <i>Handover</i> <i>Códec</i> Compatibilidad hacia atrás Otros (SFN) Otros (MFN) Otros (ESG)	Año de lanzamiento Red y frecuencia N° de usuarios

El sistema DVB-NGH es la evolución de DVB-H. DVB-NGH aporta numerosas novedades tecnológicas que le dotan de múltiples potencialidades, ninguna debilidad y apenas amenazas para su implantación. Tal y como está diseñado, el sistema parece que sea el estándar para la televisión digital en movilidad más avanzado en este momento. El sistema cuenta con una sólida capa física, que proporciona un buen ancho y capacidad de banda, y con una tasa máxima de transmisión de datos al menos un 50% superior a la de su predecesor, que le permitirá acomodar varios canales de televisión. Uno de los requisitos que se han planteado para DVB-NGH era que permitiese una velocidad en movilidad de más de 350 km/h. Además, el sistema sigue empleando la técnica de *time-slicing* para ahorrar energía en los receptores, y la modulación OFDM para transmitir en SFNs. La mayor novedad entre las oportunidades del sistema está en el empleo de un nuevo *códec* de vídeo SVC. DVB-NGH se sigue beneficiando de formar parte de la familia de estándares más extendida del mundo, y de las facilidades que le proporcionará el ser en parte compatible hacia atrás con el nuevo sistema para la televisión digital terrestre DVB-T2. Al igual que su predecesor, DVB-NGH ofrece servicios ESG. Por último, el diseño del sistema DVB-NGH también ha planteado el

que tenga un componente satélite.

Las pocas limitaciones del sistema DVB-NGH le vienen por ser un estándar todavía en vías de desarrollo, que no cuenta con usuarios previos y que todavía depende de la banda UHF para su transmisión.

5.3.4.7. Comparativa DAFO de los estándares 2G

A continuación, elaboraremos una tabla en la que compararemos los resultados obtenidos en los análisis DAFO de los estándares para la televisión digital en movilidad de la segunda generación. La metodología seguida es la misma que en la tabla comparativa anterior: en la parte superior de la tabla ponemos las Fortalezas y Oportunidades, y sumamos un punto por cada una que hayamos identificado en cada estándar. Debajo ponemos las Debilidades y Amenazas, y restamos un punto por cada una que figura en el análisis DAFO del estándar en cuestión. El resultado final de la operación aparece en la última fila de la tabla y nos da una idea de qué estándares tecnológicos de la segunda generación albergan mejores opciones de implantación desde una perspectiva tecnológica.

Tabla 77. Comparativa DAFO de los estándares de la segunda generación.

Comparativa DAFO de los estándares 2G								
<u>Estándares</u> / <u>DAFO</u>	LTE (4G) eMBMS	AT-DMB	DTMB	ATSC 3.0	ISDB-Tmm	WiMAX	DVB-NGH	DVB-SH
FORTALEZAS (+)	6	3	7	6	5	7	7	4
OPORTUNIDADES (+)	9	8	6	6	6	3	9	4
DEBILIDADES (-)	2	3	2	0	2	2	0	1
AMENAZAS (-)	1	1	1	5	1	3	3	1
TOTAL	12	7	10	7	8	5	13	6

Observando los resultados de la tabla llegamos a la conclusión de que los estándares con mejores tecnologías para facilitar su implantación son DVB-NGH (13) y LTE eMBMS (12). Los peor situados en la tabla son ahora WiMAX (5) y DVB-SH (6), los dos estándares que ya aparecían en la tabla comparativa de la primera generación.

Nótese también la alta puntuación obtenida por el sistema DTMB (10), el único que no es una evolución de un sistema anterior.

5.3.5. Comparativa de los resultados de los estándares 1G y 2G

La tabla que presentamos a continuación nos sirve para comparar los resultados de los análisis DAFO de los estándares de la primera generación con los obtenidos por los estándares de la segunda generación. Cada estándar y su evolución están situados en la misma columna, salvo los que se repiten (WiMAX y DVB-SH) que aparecen igual en las dos filas y DTMB que sustituye a MediaFLO en la columna que hemos destacado.

Tabla 78. Comparativa de los resultados de los estándares de la primera y la segunda generación.

1G	3G MBMS	T-DMB	MediaFLO	ATSC M/H	ISDB-T 1 Seg	WiMAX =	DVB-H	DVB-SH =
Puntuación DAFO	5	6	8	4	3	5	9	6
2G	LTE (4G) eMBMS	AT-DMB	DTMB	ATSC 3.0	ISDB-Tmm	WiMAX	DVB-NGH	DVB-SH
Puntuación DAFO	12	7	10	7	8	5	13	6

Nótese el gran aumento en la puntuación que obtiene la segunda generación del sistema MBMS (7 puntos más) y del sistema ISDB-T (5 puntos más). La segunda generación del sistema T-DMB (1 punto más), por el contrario, apenas logra mejorar sus prestaciones respecto a su estándar original.

5.3.6. Modelo comparativo propuesto

La tabla comparativa DAFO de los estándares de la primera generación otorgaba la mayor puntuación a los estándares DVB-H y MediaFLO que, como hemos visto, han fracasado en su implantación. También hemos visto que los dos únicos sistemas para la televisión digital en movilidad que han conseguido implantarse con éxito en el mundo, aunque no sean rentables, han sido T-DMB y ISDB-T 1 Seg, dos sistemas que obtenían una baja puntuación en la tabla comparativa.

Después de analizar las distintas tecnologías que componen los estándares para la televisión digital en movilidad de la primera generación, y tras estudiar el proceso y estado de su implantación, hemos identificado dos factores que consideramos decisivos para que un estándar tecnológico tenga éxito en su implantación.

El primer factor sería la compatibilidad del estándar con un sistema de televisión digital terrestre de su misma familia que ya esté implantado. Las posibilidades de implantación de un estándar aumentan notablemente si puede evitar el alto coste que conlleva el despliegue de una red de transmisión y la dificultad de adquirir una licencia para operar en una banda de radiofrecuencia. Un estándar que no requiere del despliegue de ninguna red nueva para transmitir y que pueda compartir el mismo *múltiplex* que la televisión digital terrestre o emitir en la misma radiofrecuencia que la televisión digital terrestre sin afectar a sus transmisiones tendrá ventaja sobre sus competidores.

El segundo factor que consideramos decisivo para la implantación de un estándar para la televisión digital en movilidad es el contar con el apoyo de un organismo gubernamental de carácter nacional. A pesar de las directrices que puedan dar organismos supranacionales como la Unión Europea, los únicos organismos capaces de imponer una regulación en un territorio que dinamice la implantación de la televisión digital en movilidad son los gobiernos nacionales. Si tecnologías como T-DMB e ISDB-T 1 Seg se han implantado con éxito ha sido, en gran parte, gracias a que contaban con el apoyo de los gobiernos de sus países, no a su superioridad tecnológica. Prueba de ello es que estas dos tecnologías sólo han conseguido implantarse con éxito en sus países de origen, a pesar de los ensayos realizados con ellas en multitud de regiones del mundo. Tecnologías superiores como DVB-H y MediaFLO han fracasado. Podemos atribuir gran parte del fracaso de DVB-H al hecho de no contar con apoyos sólidos a nivel gubernamental en los países europeos, pese al respaldo de la Comisión Europea. El fracaso de MediaFLO viene provocado, sobre todo, por ser una iniciativa privada sin ningún respaldo oficial que sólo buscaba la rentabilidad económica a corto plazo. Consideramos que el apoyo gubernamental a nivel nacional resulta también de capital importancia para garantizar la colaboración entre los distintos actores implicados en el proceso de implantación de la televisión digital terrestre como son las operadoras de señal de televisión, las operadoras de señal de telefonía, los generadores de contenidos y

los fabricantes de dispositivos, entre otros. En Japón, por ejemplo, el estado obliga a la operadoras de televisión a proporcionar servicios ISDB-T 1 Seg.

Por todo esto, hemos elaborado el siguiente modelo comparativo para la segunda generación de estándares para la televisión digital en movilidad. Añadimos a las puntuaciones obtenidas en la comparativa de los estándares de la segunda generación un punto más para aquellos sistemas que sean compatibles con una red y banda de radiofrecuencias ya empleados para la difusión de televisión digital terrestre por otro sistema de su misma familia tecnológica. Además, señalamos a aquellos estándares que gozan del apoyo de algún organismo gubernamental en sus territorios de influencia.

Tabla 79. Modelo comparativo propuesto.

Comparativa DAFO de los estándares 2G								
<u>Estándares</u> / <u>DAFO</u>	LTE (4G) eMBMS	AT-DMB	DTMB	ATSC 3.0	ISDB-Tmm	WiMAX	DVB-NGH	DVB-SH
FORTALEZAS (+)	6	3	7	6	5	7	7	4
OPORTUNIDADES (+)	9	8	6	6	6	3	9	4
DEBILIDADES (-)	2	3	2	0	2	2	0	1
AMENAZAS (-)	1	1	1	5	1	3	3	1
TOTAL	12	7	10	7	8	5	13	6
+ 1 por compatibilidad con una RF y red de la TDT		1	1		1		1	
Apoyo gubernamental a nivel nacional		•	•	•	•			
FINAL	12	8 •	11 •	7	9 •	5	14	6

Nótese que, en el modelo comparativo que proponemos, las únicas tecnologías que cuentan en su haber con los dos factores que hemos considerado decisivos son DTMB e ISDB-Tmm, dos tecnologías que ya están implantándose con éxito, y AT-DMB, una tecnología que sustituirá automáticamente a su predecesora cuando sea lanzada. Hay que señalar también que ninguna de estas tres tecnologías obtiene los mejores resultados del análisis comparativo, que siguen correspondiendo a DVB-NGH que suma un punto por su compatibilidad con la televisión digital terrestre, y a LTE eMBMS que mantiene la segunda puntuación pese a no contar con ningún factor decisivo a su favor. La tecnología ATSC 3.0, pese a contar con el apoyo de la Federal Communications Commission, queda en desventaja por no ser compatible hacia atrás con otras tecnologías ATSC.

5.4. CONCLUSIONES Y PROSPECTIVA DE LAS TECNOLOGÍAS PARA LA TELEVISIÓN DIGITAL EN MOVILIDAD

A continuación, exponemos las conclusiones del trabajo que hemos dividido en dos apartados. Primero planteamos las conclusiones generales que se pueden aplicar a todas las tecnologías para la televisión digital en movilidad. Después elaboramos una breve prospectiva de la implantación de cada uno de los estándares tecnológicos para la televisión digital en movilidad.

5.4.1. Conclusiones generales

Una vez finalizado el trabajo realizado para este estudio llegamos a las siguientes conclusiones generales.

- Después de analizar las potencialidades y limitaciones de las tecnologías para la televisión digital en movilidad de la primera generación, y conociendo el éxito o fracaso de su implantación, llegamos a la conclusión de que **la ventaja tecnológica no garantiza el éxito de la implantación**. Lo que nos lleva a preguntarnos qué otros factores pueden resultar determinantes para lograr la implantación de un estándar tecnológico.
- El análisis de los estándares de la primera generación que consiguieron

implantarse con éxito nos ha llevado a la conclusión de que **un factor determinante para la implantación de un estándar para la televisión digital en movilidad es la compatibilidad en la transmisión de la señal con un sistema de televisión digital terrestre de su misma familia que ya esté implantado**. Esto se podría deber al alto coste que conlleva el despliegue de una red de distribución de señal de televisión digital en movilidad y a la escasez de espectro radioeléctrico libre utilizable.

- La mayoría de estándares tecnológicos para la televisión digital en movilidad han sido desarrollados por organismos compuestos por varias instituciones y empresas, y forman parte de alguna familia tecnológica de gran influencia, salvo excepciones como MediaFLO que es de iniciativa privada. Algunos como DVB-H incluso cuentan con el apoyo de algún gran organismo gubernamental supranacional como la Unión Europea. Pero el análisis de los estándares que han conseguido implantarse con éxito nos lleva a la conclusión de que **un factor determinante para la implantación de un estándar para la televisión digital en movilidad es el contar con apoyo gubernamental a nivel nacional**. En última instancia son los gobiernos nacionales quienes aplican o no las directrices de los organismos de estandarización, y quienes deciden si impulsan una tecnología para la televisión digital en movilidad haciendo, por ejemplo, que se le adjudiquen licencias para el uso del espectro radioeléctrico o imponiendo a las operadoras de señal su uso. Lo que nos lleva a preguntarnos cuáles van a ser las áreas globales de influencia de los distintos estándares para la televisión digital en movilidad.
- Hemos visto que la mayoría de estándares para la televisión digital en movilidad son adaptaciones y evoluciones de las tecnologías previas de difusión de televisión digital terrestre de su misma familia tecnológica que ya estaban implantadas, salvo excepciones como 3G MBMS y WiMAX que son sistemas de telecomunicaciones para la transmisión de datos en banda ancha y MediaFLO que fue una iniciativa privada de la compañía Qualcomm. Este hecho, junto con el conocimiento actual que tenemos del estado de implantación de las

tecnologías para la televisión digital terrestre, nos lleva a la conclusión de que **la futura implantación de los estándares para la televisión digital en movilidad estará fuertemente condicionada por las áreas de influencia de los distintos estándares para la televisión digital terrestre**. Cuando desarrollemos la prospectiva de cada estándar tecnológico veremos en cada caso cual esperamos que va a ser su área de influencia.

- La mayoría de los estándares tecnológicos que hemos estudiado en este trabajo fueron diseñados específicamente con el propósito de servir para la difusión de televisión digital en movilidad, salvo los estándares 3G MBMS y WiMAX que son en realidad sistemas de telecomunicaciones para la transmisión de datos en banda ancha con la capacidad de proporcionar servicios de televisión digital en movilidad. Debido a que estos dos estándares no dependen del estado de implantación de la televisión digital terrestre, a que sus organismos reguladores tienen una influencia global, y a que el crecimiento del número de usuarios de sistemas de transmisión de banda ancha móvil ha sido exponencial en los últimos años, concluimos que **los estándares 3G MBMS y WiMAX tienen un potencial de implantación global**.
- En este trabajo hemos visto que existen dos modos de enviar información: *unicast* y *broadcast*. En el espacio de tiempo que va desde la aparición de los primeros estándares para la televisión digital en movilidad en el año 2005 hasta la actualidad, la difusión de vídeo ha pasado de ser transmitida mayoritariamente en *broadcast* a hacerlo cada vez más en modo *unicast*. Esto se debe, en parte, al auge de las redes de banda ancha (*broadband*) y a los cambios en los hábitos de consumo de servicios multimedia por parte de los consumidores. El aumento de la demanda de contenidos multimedia por parte de los usuarios ha llevado a su vez a la saturación de las redes de difusión de datos en banda ancha (*broadband*), atrayendo de nuevo la atención hacia las tecnologías *broadcast*. Esto nos lleva a la conclusión de que **el futuro a largo plazo de las tecnologías para la televisión digital en movilidad pasa por la creación de sistemas mixtos *broadband/broadcast***, a pesar de los tímidos pasos dados en ese sentido

hasta la fecha por el sector de las telecomunicaciones y de la televisión.

- A pesar de considerar que la capacidad de difusión en *broadcast* resulta fundamental para la implantación de una tecnología para la televisión digital en movilidad, hemos podido comprobar el potencial de la tecnología *unicast* para la difusión de contenidos multimedia adaptados al usuario, así como para incluir todo tipo de servicios de carácter interactivo. Algunos de los estándares de la segunda generación para la difusión en *broadcast* de televisión digital en movilidad por vía de redes de difusión terrestre como DVB-NGH y ATSC 3.0 están considerando el incluir también una vía de comunicación del usuario al emisor mediante tecnología *unicast*. Por todo esto, concluimos que **la interactividad tendrá una importancia decisiva de cara a facilitar la implantación de las próximas tecnologías para la televisión digital en movilidad.**
- Hasta el momento actual, el dominio de la transmisión en *broadcast* correspondía a las operadoras de señal de televisión, y el dominio de la transmisión en *unicast* correspondía a las operadoras de señal de telefonía. La tendencia que siguen la mayoría de estándares de emitir en *broadcast*, pero conservando o adquiriendo capacidades de transmisión en *unicast* a su vez, nos hace pensar que **el futuro de las tecnologías para la televisión digital en movilidad pasa porque las operadoras de señal de televisión y las operadoras de señal de telefonía trabajen juntas.**
- La irrupción en el mercado en los últimos años de nuevos dispositivos móviles como los *smartphones* y las *tablets*, impulsados por la evolución de las tecnologías de transmisión de datos en banda ancha, han contribuido a su vez al renovado interés por las tecnologías para la televisión digital en movilidad. Los *smartphones* y las *tablets* son un tipo de dispositivo móvil que, por sus características técnicas, resultan idóneos para soportar servicios interactivos, y que pueden adaptarse fácilmente para recibir emisiones, tanto en *broadcast* como en *unicast*. En este trabajo hemos citado estudios que mostraban como hoy

en día la mayor parte de las conexiones de banda ancha móvil se estaba produciendo desde los teléfonos móviles. Por todo ello, pensamos que **el teléfono móvil (*smartphone*) será el dispositivo por excelencia para la recepción de servicios de televisión digital en movilidad en un futuro cercano, y que los fabricantes de teléfonos móviles jugarán un papel importante en la implantación de los estándares para la televisión digital en movilidad.** Para poder recibir televisión digital en movilidad en un *smartphone* o una *tablet*, estos deben venir equipados con un sintonizador de la tecnología de emisión en cuestión, y la decisión de incluir o no incluir un sintonizador u otro corresponde a los fabricantes de dispositivos.

- El fracaso en la implantación de las tecnologías para la televisión digital en movilidad de la primera generación en casi todos los territorios del mundo, salvo en Japón y Corea del Sur, unido al auge de las tecnologías de transmisión de datos por redes de banda ancha móvil de la última década, parece haber situado a las operadoras de señal de telefonía en una posición de fuerza respecto a las operadoras de señal de televisión. Los grandes organismos reguladores, tanto nacionales como supranacionales, parece que también le están dando prioridad a los tecnologías de transmisión de banda ancha móvil como 3G, LTE y 4G a la hora de asignar franjas del codiciado espectro radioeléctrico. Ya se están ensayando en el mundo algunos modelos de negocio basados en la figura de un gran macrooperador de señal que actúe como un proveedor de servicios de datos en un modelo cooperativo en el que controle una gran red de difusión y comparta sus recursos y el escaso espacio radioeléctrico con otros operadores menores de telefonía móvil y con los generadores de contenido multimedia. Por todo lo anterior, pensamos que **el futuro próximo de la implantación de las tecnologías para la televisión digital en movilidad dependerá de la colaboración de los operadores de señal de televisión, los operadores de señal de telefonía móvil, los fabricantes de dispositivos, los generadores de contenidos, los organismos reguladores, etc., pero estará liderada por las compañías operadoras de telefonía móvil.**

- Algunas de las ventajas que acarrearía la figura de un macrooperador de señal serían el poder hacer un uso mucho más eficiente del espectro radioeléctrico, abaratar los costes para el usuario y unificarlos en una sola factura, y ampliar el alcance de los productos y servicios generados por los creadores de contenidos. La experiencia con los estándares para la televisión digital en movilidad de la primera generación ha demostrado que los usuarios no encuentran atractivo el tener que pagar un coste por la suscripción al servicio. Los únicos dos estándares implantados con éxito, T-DMB y ISDB-T 1 Seg, ofrecen sus servicios de manera gratuita, aunque también hay que recordar que ambas redes no son rentables a día de hoy. Por todo esto pensamos **que los servicios futuros de televisión digital en movilidad deberán ser gratuitos y financiarse mediante la inclusión de publicidad, o siendo incluidos junto con otros servicios en una factura única, o mediante la tarificación de servicios extra interactivos concretos, o mediante una combinación de todo lo anterior.**

5.4.2. Prospectiva de las tecnologías para la televisión digital en movilidad

La implantación de las tecnologías para la televisión digital en movilidad está en suspenso en la mayoría de los países del mundo. El desarrollo de los distintos estándares tecnológicos depende de los esfuerzos de numerosos organismos, supranacionales en su mayoría, como 3GPP, DVB, ATSC, DMB o ISDB, pero su implantación final ha dependido hasta la fecha de la voluntad y el impulso de los gobiernos nacionales, y de la disponibilidad de frecuencias del espectro radioeléctrico. De esta forma, nos encontramos con un conflicto entre los esfuerzos de los grandes organismos por estandarizar las tecnologías para la televisión digital en movilidad y la realidad que van creando los propios países con sus políticas de concesión de licencias del espectro radioeléctrico y su apoyo a los distintos estándares tecnológicos. La implantación de las tecnologías para la televisión digital en movilidad lleva en suspenso desde que los estándares de la primera generación fracasaron en su empeño, salvo en los países en los que fueron apoyados por gobiernos (Corea del Sur y Japón). En la última década, hemos sido partícipes a su vez del auge de las tecnologías de transmisión de banda ancha móvil, que han propiciado un crecimiento sin precedentes del sector de la telefonía

móvil que ahora gestiona la mayor parte del tráfico de datos en movilidad a nivel global. La banda ancha móvil ha permitido la creación de nuevos dispositivos móviles, entre los que hay que destacar a los *smartphones*, capaces de soportar y generar todo tipo de contenidos multimedia, entre los que incluimos a la televisión digital en movilidad, y aplicaciones interactivas. Todo esto ha provocado una demanda de contenidos multimedia sin precedentes por parte de los usuarios, lo que se traduce en una deriva de los gustos de los consumidores desde el predominio del consumo televisivo hacia una preferencia por los contenidos multimedia en Internet. Las nuevas redes de banda ancha no fueron diseñadas para soportar la ingente cantidad de tráfico de datos que demanda hoy en día la multimedia en movilidad y ya han comenzado a colapsarse, lo que ha devuelto de nuevo la atención a las tecnologías para la difusión de televisión digital en movilidad. En este momento, se está trabajando en el desarrollo de una nueva serie de estándares tecnológicos para la televisión digital en movilidad de segunda generación. Al mismo tiempo, los sistemas de transmisión de banda ancha móvil no hacen más que evolucionar buscando siempre la capacidad de poder ofrecer más servicios multimedia. Parece que el futuro cercano pasa por la competencia entre los sistemas de transmisión de banda ancha móvil y los sistemas para la difusión de televisión digital en movilidad, y que un futuro más lejano nos podría deparar la fusión de ambas tecnologías.

A continuación, hacemos una breve prospectiva, basándonos en los análisis que hemos realizado con nuestro modelo comparativo, de varios estándares para la televisión digital en movilidad que hemos seleccionado.

- **3G MBMS** (*3G Multimedia Broadcast Multicast Service*) y **LTE eMBMS** (*3G Long Term Evolution enhanced Multimedia Broadcast Multicast Service*). LTE eMBMS obtiene una puntuación de 12 en nuestro modelo comparativo, la segunda puntuación más alta, pero no suma el punto por la compatibilidad con la televisión digital terrestre ni cuenta con apoyos gubernamentales. LTE eMBMS es la evolución de la tecnología 3G MBMS, que es un perfil del estándar 3G de transmisión de banda ancha móvil para la difusión de televisión digital en movilidad. Además, LTE eMBMS no cuenta con apoyo gubernamental porque todavía no está implementado, pero parece que varios gobiernos en todo el mundo ya han comenzado a favorecer a las tecnologías LTE y están adjudicando

franjas del espectro radioeléctrico a las compañías que ofrecen servicios mediante esta redes. Las redes LTE, también denominadas 4G, ya se están desplegando en muchos países, pero sus capacidades todavía son insuficientes para poder garantizar un servicio de televisión digital en movilidad en condiciones. Si las redes LTE implementasen su perfil eMBMS con éxito podrían provocar una revolución en el entorno de la televisión digital, ya que el sistema contaría con la capacidad de emitir en *broadcast* y *unicast*, lo que le permitiría alcanzar a un número ilimitado de usuarios ofreciendo además servicios interactivos. A día de hoy, los ensayos realizados con la tecnología LTE eMBMS no han convencido, pese a las prestaciones tecnológicas que promete el sistema. LTE eMBMS no es una tecnología de televisión digital en movilidad propiamente dicha, y no necesita del apoyo de los gobiernos más allá de la cesión de espacio radioeléctrico. Es el sector de la telefonía móvil quien impulsa este estándar. La mayor fortaleza de eMBMS es también su principal debilidad, y es que el sistema se basa en la difusión vía redes 4G de telefonía móvil, que ya están desplegadas y que cuentan con millones de usuarios en todo el mundo, pero que sólo son rentables de desplegar en áreas densamente pobladas debido a su alto coste y al poco alcance de sus repetidores; por lo que creemos que esta tecnología o sus evoluciones pueden convertirse en un estándar de alcance global para la televisión digital en movilidad, pero con un ámbito limitado a los núcleos urbanos.

- **T-DMB** (*Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting*) y **AT-DMB** (*Advanced Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting*). AT-DMB obtiene unos mediocres 8 puntos en nuestro modelo comparativo, pero uno de sus puntos se debe a su compatibilidad con el sistema T-DMB de televisión digital en movilidad que ya está implantado gracias al uso que hace de las redes del estándar de audio digital en movilidad DAB, y además estos tres estándares reciben el apoyo del gobierno de Corea del Sur, por lo que podemos afirmar que AT-DMB cumple con los dos factores que hemos considerado decisivos para la implantación de una tecnología de televisión digital en movilidad. AT-DMB es un sistema que apenas cuenta con fortalezas técnicas y que se limita a mejorar

levemente las prestaciones del sistema anterior, T-DMB, que eran bastante mediocres. Pero AT-DMB parte de una situación externa privilegiada, y es que su versión de primera generación, T-DMB, fue el primer estándar de televisión digital en movilidad del mundo y se encuentra sólidamente implantado en Corea del Sur. AT-DMB emplea para transmitir los mismos canales y frecuencias que T-DMB, que a su vez emplea los de la red DAB que está implantada en muchos países del mundo. Esto demuestra la importancia de contar con el apoyo gubernamental a nivel nacional porque, a pesar de que T-DMB tenía el potencial de implantarse como estándar para la televisión digital en movilidad en todos los países en los que se empleaba el sistema DAB como estándar de audio digital, sólo consiguió hacerlo en Corea del Sur donde recibió el apoyo del gobierno y donde todavía, a día de hoy, no es un servicio rentable. AT-DMB es un sistema mediocre, que se limita a adaptar las prestaciones del estándar anterior a las nuevas resoluciones y tamaños de pantalla, pero que no puede competir con el resto de estándares para la televisión digital en movilidad de la segunda generación. Pero AT-DMB también es completamente compatible hacia atrás con el sistema T-DMB que ya está implantado, por lo que le auguramos un éxito de implantación rápido y rotundo próximamente, aunque sólo en el territorio de Corea del Sur.

- **DTMB** (*Digital Terrestrial Multimedia Broadcast*) y **CMMB** (*China Mobile Multimedia Broadcasting*). DTMB obtiene 11 puntos en nuestro modelo comparativo y se sitúa entre las puntuaciones más altas. Además, DTMB obtiene el punto por la compatibilidad con un sistema de transmisión de televisión terrestre ya implantado porque, en su caso, el propio sistema DTMB es en realidad un estándar para la televisión digital terrestre y para la televisión digital en movilidad al mismo tiempo. El sistema DTMB tiene el apoyo del gobierno chino, por lo que podemos afirmar también que DTMB cumple con los dos factores que hemos considerado decisivos para la implantación de una tecnología de televisión digital en movilidad. El sistema DTMB es un estándar muy sólido desde el punto de vista tecnológico, que apenas tiene limitaciones y que se ha adelantado a su competidor, el sistema CMMB, que tiene unas

prestaciones menores y que nunca llegó a desplegar su componente de satélite. Parece que el estándar DTMB tiene todo lo necesario para convertirse en un solvente estándar para la televisión digital en movilidad de la segunda generación. De hecho, DTMB ya está implantado en China como estándar para la televisión digital terrestre, aunque desconocemos su número de usuarios actual para su perfil de televisión digital en movilidad. La única limitación del sistema DTMB estriba en que su ámbito de implantación se limita a China, Hong Kong y Macao, que no es poco ya que China por sí sola constituye uno de los mayores mercados del mundo del sector de las telecomunicaciones. Algunos países de oriente medio como Irak, Jordania, Siria y Líbano han mostrado su interés en el sistema DTMB. Cuba también parece interesada en el sistema. Auguramos un brillante futuro al sistema DTMB y una rápida implantación, que ya ha comenzado, pero sólo para China y su área de influencia.

- **ATSC M/H** (*Advanced Television Systems Committee Mobile/Handheld*) y **ATSC 3.0** (*Advanced Television Systems Committee 3.0*). ATSC 3.0 obtiene sólo 7 puntos en nuestro modelo comparativo y se sitúa entre los tres sistemas peor valorados. De hecho, si tenemos en cuenta que los otros dos sistemas con puntuaciones más bajas son WiMAX y DVB-SH, que ya pertenecían a la primera generación, podemos afirmar que ATSC 3.0 es el sistema para la televisión digital en movilidad de la segunda generación que obtiene una puntuación más baja en nuestro modelo. ATSC 3.0 está todavía en fase de desarrollo e intenta mejorar las prestaciones del sistema ATSC M/H, que era un sistema tecnológicamente solvente pero con muchas amenazas de carácter externo. Como curiosidad, cabe destacar que el sistema ATSC M/H empleaba un tipo de modulación llamado 8-VSB y que se espera que ATSC 3.0 adopte una modulación basada en la tecnología OFDM, confirmando a este tipo de *multiplexación* como la más extendida a nivel global para la transmisión de señales para la televisión digital en movilidad. El principal problema de ATSC 3.0 es que se espera que sea un sistema que rompa la compatibilidad hacia atrás con sus predecesores, y ese es uno de los factores que hemos identificado como determinante para conseguir la implantación de un estándar. Por otro lado se

espera también que ATSC 3.0 cuente con el respaldo de la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) de Estados Unidos, lo que dotaría al sistema de un respaldo de carácter estatal. Pero Estados Unidos es a su vez un país que tradicionalmente ha defendido una ideología de libre competencia y de no intervencionismo económico, por lo que no esperamos que el apoyo de la FCC sea significativo. Parece que ATSC 3.0 se tendrá que enfrentar a las mismas limitaciones de carácter externo que su predecesor, perdiendo además su mayor ventaja que es la influencia que el estándar ATSC para la televisión digital terrestre tiene en Norteamérica y Corea del Sur. Resulta reseñable también que la mayoría de países de Suramérica hayan optado por sistemas tecnológicos de la familia japonesa ISDB como estándares para la televisión digital terrestre en sus territorios, desdeñando así al sistema estadounidense. El sistema ATSC 3.0, tal y como lo conocemos en su estado de desarrollo actual, podría competir tecnológicamente con el resto de estándares para la televisión digital en movilidad de la segunda generación, pero se enfrenta a demasiadas amenazas externas y no pensamos que vaya a lograr implantarse con facilidad en ningún territorio del mundo salvo Norteamérica, donde además tendrá que competir con otros estándares en igualdad de condiciones.

- **MediaFLO** (*Media Forward Link Only*) MediaFLO es un estándar para la televisión digital en movilidad de la primera generación que obtenía 8 puntos en su análisis DAFO, lo que le situaba en segunda posición, por detrás de DVB-H, como el mejor estándar de su momento, desde una perspectiva tecnológica. El sistema MediaFLO nació además como la iniciativa privada de una única compañía, el gigante de las telecomunicaciones estadounidense Qualcomm, que logró implantar su sistema en los Estados Unidos y alcanzar la respetable cifra de 68 millones de usuarios en ese mercado, pese a ser un sistema totalmente nuevo y no contar con apoyo gubernamental. La tecnología MediaFLO nunca llegó a ser rentable y el sistema fue liquidado en 2011. El fracaso del sistema MediaFLO es una prueba más de que la ventaja tecnológica no garantiza la implantación y de que son necesarios otros factores como los dos que hemos identificado en este trabajo para que un estándar para la televisión digital en

movilidad alcance el éxito. No se sabe de ningún plan en la actualidad para resucitar a la tecnología MediaFLO.

- **ISDB-T 1 Seg** (*Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial 1 Segment*), **ISDB-Tmm** (*Terrestrial multimedia*) y **ISDB-T_{SB}** (*Sound Broadcasting*). El sistema ISDB-Tmm obtiene una puntuación de 9 en nuestro modelo comparativo, incluye el punto por la compatibilidad con un sistema de transmisión de televisión digital terrestre de su misma familia y, además, cuenta con el apoyo del gobierno japonés. ISDB-Tmm es una evolución del sistema ISDB-T 1 Seg, que es uno de los primeros estándares para la televisión digital que se implantó en el mundo y que basaba sus potencialidades más en las oportunidades que ofrecía su entorno que en sus propias fortalezas tecnológicas. ISDB-Tmm mejora las mediocres prestaciones que ofrecía el sistema ISDB-T 1 Seg y adapta sus tecnologías para resultar atractivo a los usuarios actuales con su demanda de mejores resoluciones y dispositivos móviles con pantallas más grandes. No es que ISDB-Tmm sea un sistema especialmente sólido que pueda competir en igualdad de condiciones con los estándares más avanzados para la televisión digital en movilidad de segunda generación, pero sí cuenta con todos los factores que hemos determinado como necesarios para triunfar en su implantación. De hecho, ya ha comenzado a implantarse en Japón sustituyendo a las emisiones realizadas mediante tecnología ISDB-T 1 Seg. El sistema ISDB-Tmm cuenta además con otra ventana de oportunidad, ya que la mayoría de países de Suramérica han optado por el sistema ISDB-T como estándar para la televisión digital terrestre. Por todo esto, auguramos un brillante futuro y una rápida implantación para los sistemas ISDB-Tmm de televisión digital en movilidad y ISDB-T_{SB} de audio en movilidad en Japón y los países de Suramérica en los que ya hay implantados estándares de la familia ISDB.
- **WiMAX** (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*). WiMAX obtiene la puntuación más baja, 5, en nuestro modelo comparativo, pero hay que tener en cuenta que el sistema WiMAX no es un estándar para la televisión digital en movilidad propiamente dicho y que, pese a tener sus orígenes en 2006 con los

estándares de la primera generación, continúa en la carrera por su implantación a nivel global. El sistema WiMAX no cumple con ninguno de los dos factores determinantes para alcanzar el éxito en su implantación al tratarse de un sistema original que no cuenta con fuertes apoyos gubernamentales. WiMAX es un sistema de transmisión de datos en banda ancha con un perfil de recepción fija y otro móvil. A día de hoy, la principal competencia de WiMAX son las redes LTE (4G) que le aventajan en su desarrollo e implantación como estándar para la transmisión de datos en movilidad, y que además cuentan con muy buenos apoyos por parte de todo tipo de organismos reguladores. Pero el sistema WiMAX posee dos ventajas muy importantes: una es que emplea para transmitir un rango de frecuencias entre las UHF y las SHF que no está todavía muy saturado, y la otra es que el sistema admite una distancia mucho mayor entre emisor y receptor que la de su competidora LTE. El sistema WiMAX no depende de redes de comunicación densas para funcionar, por lo que pensamos que continuará implantándose a buen ritmo como estándar para la transmisión de datos en banda ancha a nivel global, cobrando especial fuerza en las áreas poco pobladas como las zonas rurales donde no llegan las redes LTE.

- **DVB-H** (*Digital Video Broadcasting–Handheld*), **DVB-NGH** (*Digital Video Broadcasting–Next Generation Handheld*) y **T2 Lite**. DVB-NGH obtiene 14 puntos en nuestro modelo comparativo y se sitúa como el estándar mejor valorado. El sistema DVB-NGH es compatible, en gran parte, con la tecnología de televisión digital terrestre DVB-T2, pero está todavía en fase de desarrollo y no cuenta aún con apoyos gubernamentales a nivel nacional. DVB-NGH es la evolución del sistema DVB-H, que con el apoyo de la Unión Europea comenzó a implantarse en varios países europeos hace 7 años y que fracasó en su intento en todos los territorios pese a ser, junto con MediaFLO, uno de los estándares tecnológicamente más sólidos de la primera generación. DVB-NGH mejora las ya buenas prestaciones de DVB-H y se podría decir que es, tal y como lo conocemos en su fase de desarrollo actual, el estándar tecnológicamente más avanzado para la televisión digital en movilidad. Tiene muchísimas fortalezas, ninguna debilidad, aprovecha varias oportunidades y se enfrenta a unas pocas

amenazas. La mayor fortaleza del sistema DVB-NGH estriba en que pertenece a la familia de estándares de televisión digital más extendida del mundo, que cuenta con una gran influencia en casi todos los países de Europa, Asia (salvo China, Corea del Sur y Japón), África y Oceanía. Además, de cara a la cobertura y al coste de despliegue de una red de difusión, el sistema DVB-NGH contempla el incluir un perfil por satélite. La única amenaza real para la implantación del sistema DVB-NGH está en no conseguir el apoyo de los organismos reguladores de los países donde intente implantarse. Se espera que DVB-NGH transmita empleando el mismo canal que DVB-T2, por lo que el sistema debería implantarse sin problemas en los países que ya han aceptado ese estándar para la difusión de televisión digital terrestre. Además, mientras se termina de implementar el sistema DVB-NGH, el estándar para televisión digital terrestre DVB-T2, que ya está implantado en muchos países como España, cuenta con un perfil llamado T2 Lite integrado para la emisión de televisión digital en movilidad con el que espera incentivar a las operadoras de señal para que proporcionen servicios de televisión digital en movilidad y a los fabricantes a incluir receptores de T2 Lite en los dispositivos móviles. Por todo lo anterior, esperamos que en pocos años DVB-NGH se convierta en el estándar para la televisión digital en movilidad más implantado en el mundo, con una fuerte presencia en Europa, África, Asia (salvo China, Corea del Sur y Japón) y Oceanía, y con capacidad de competir con los estándares que se hayan implantado en el continente americano.

- **DVB-SH** (*Digital Video Broadcasting–Satellite Handheld*). DVB-SH obtiene 6 puntos en nuestro modelo comparativo, lo que no está mal si tenemos en cuenta que es un estándar para la televisión digital en movilidad de la primera generación que nunca superó la fase de pruebas. El sistema DVB-SH es además el único estándar para la difusión de televisión digital en movilidad por satélite que hemos analizado con nuestro modelo. DVB-SH es un estándar tecnológicamente muy sólido para su época, que aportaba como principal rasgo distintivo el emplear la tecnología satélite para la difusión de su señal, lo que le permitía alcanzar una cobertura hipotética equivalente a toda Europa Occidental

con un único satélite. El sistema DVB-SH garantizaba además la cobertura en todo el territorio nacional, no sólo en los lugares donde estuviera desplegada una red de difusión, aunque requería de un refuerzo con repetidores para los entornos urbanos. DVB-SH fue una tecnología muy prometedora objeto de continuos ensayos en muchos territorios del mundo. Tanto Europa como los Estados Unidos han lanzado satélites con la intención de implementar el sistema DVB-SH, pero el estándar nunca ha llegado a alcanzar la fase comercial. Con el sistema DVB-NGH en fase de desarrollo, y sabiendo que contempla además una componente satélite, no creemos que el sistema DVB-SH vaya a conseguir implantarse nunca. Tal vez los dos satélites que se lanzaron al espacio puedan servir en un futuro para ayudar a implementar la componente satélite del sistema DVB-NGH, que parece aunar todas las potencialidades del sistema DVB-SH y el sistema DVB-H juntos y aumentarlas.

A modo de conclusión final:

Después de estudiar todas las tecnologías que hemos visto en este trabajo, creemos que resulta innegable que el futuro de la Sociedad de la Información pasa por el desarrollo y la implementación de las tecnologías para la televisión digital en movilidad. A pesar del fracaso de la mayoría de los estándares de la primera generación, sus organismos impulsores no se han rendido y continúan trabajando para ofrecer una nueva generación de sistemas tecnológicos para la televisión digital en movilidad. Parece que en un futuro cercano asistiremos a los esfuerzos de estos estándares por lograr implantarse, y que competirán entre ellos adoptando mayoritariamente dos estilos de transmisión distintos: el *broadband* y el *broadcast*. Puede incluso que en un futuro más lejano podamos asistir al advenimiento de una tercera generación de estándares para la televisión digital en movilidad con tecnologías que combinen ambos estilos de transmisión. Con este trabajo hemos pretendido exponer qué tecnologías hacen posible la televisión digital en movilidad, qué estándares existen en los distintos lugares del mundo y cómo funcionan, y arrojar algo de luz sobre el futuro de la implementación de las tecnologías para la televisión digital en movilidad.

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

1G: First Generation.
3D: Three Dimensions.
3G: Third Generation.
3GPP: Third Generation Partnership Project.
3GPP2: Third Generation Partnership Project 2.
3GPP-PSS: Third Generation Partnership Project-Packet-switched Streaming Standard.
4G: Fourth Generation.
8PSK: 8 Phase Shift Keying.
AAC: Advanced Audio Coding.
AAC-HE: Advanced Audio Coding-High Efficiency.
AAC-LC: Advanced Audio Coding-Low Complexity.
AAC+ SBR: Advanced Audio Coding Plus-Spectral Band Replication.
AAF: Advanced Authoring Format.
AD: Alta Definición.
A/D: Analógico-Digital.
ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line.
ADTB-T: Advanced Digital Television Broadcasting receiver for Terrestrial.
AES: Audio Engineering Society.
AJAX: Asynchronous JavaScript And XML.
AMPS: Advanced Mobile Phone System.
AMR: Adaptive Multi-Rate.
AMR-NB: Adaptive Multi-Rate-NarrowBand.
AMR-WB: Extended Adaptive Multirate Wideband.
AMWA: Advanced Media Workflow Association.
AOSP: Android Open Source Project.
API: Application Program Interface.
APS: Active Pixel Sensor.
ASF: Advanced Streaming Format.
ASI: Asynchronous Serial Interface.
ASP: Advanced Simple Profile.
AT-DMB: Advanced Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting.
ATM: Asynchronous Transmission Mode Adaptation Layer.
ATSC: Advanced Television Systems Committee.
ATSC DTT: Advanced Television Systems Committee Digital Television Terrestrial.
ATSC M/H: Advanced Television Systems Committee Mobile/Handheld.
AVC: Advanced Video Coding.
AVI: Audio Video Interleave.
AVS: Audio Video Standard.
AVS-M: Audio Video Standard-Mobile.
AWS: Advanced Wireless Services.
BBC: British Broadcasting Corporation.
BBM: BlackBerry Messenger.
BCH: Bose-Chaudhuri Hocquenguem.
BCMCS: Broadcast and Multicast Service.
BE: Best Effort services.
BES: BlackBerry Enterprise Server.

BIFS: Binary Format for Scenes.
BMCOFORUM: Broadcast Mobile Convergence Forum.
BML: Broadcast Markup Language.
BMP: Bitmap.
BPM: Biphase Mask.
BREW: Binary Runtime Environment for Wireless.
BSAC: Bit Sliced Arithmetic Coding.
BST-OFDM: Based Segmented Transmission-Orthogonal Frequency Division Multiplexing.
CAS: Central Authentication Service.
CBMS: Stands for Convergence of Broadcast and Mobile.
CBS: Common Broadcasting Specifications.
CC: Closed Caption.
CCD: Charge-Coupled Device.
CCIR: Comité Científico Internacional de las Radiocomunicaciones.
CD: Compact Disc.
CDMA: Code Division Multiple Access.
CDMA-DS: Code Division Multiple Access-Direct Spread.
CDMA IS-95: Code Division Multiple Access Interim Standard-95.
CDMA-MC: Code Division Multiple Access-Multi Carrier.
CDMA-TDD: Code Division Multiple Access-Time-Division Duplex.
CDMB: China Digital Multimedia Broadcasting.
CD-ROM: Compact Disc-Read Only Memory.
CELP: Code Excited Linear Prediction.
CEPT: European Conference of Postal and Telecommunications Administrations.
C-HTML: Compact-HTML.
CIF: Common Intermediate Format.
CMB: Cell Multimedia Broadcast.
CMMB: China Multimedia Mobile Broadcasting.
CMMB-TS: China Multimedia Mobile Broadcasting-Transport Stream.
CMOS: Complementary Metal-Oxide-Semiconductor.
CNMC: Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia.
CNSA: China National Standardization Administration.
CLDC: Connection Limited Device Configuration.
COFDM: Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing.
CPC: Continuous Packet Connectivity.
CPU: Central Processing Unit.
CRT: Cathode Ray Tube.
CS: Circuit-Switched.
CSMA/CD: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection.
CSMB: China Satellite Mobile Broadcasting corporation.
D2-MAC: Definition 2- Multiplexed Analogue Components.
DAB: Digital Audio Broadcasting.
DAFO: Debilidades, Amenazas, Fortalezas, Oportunidades.
D-AMPS: Digital-Advanced Mobile Phone System.
DASE: Date Applications Software Environment.
DAT: Digital Audio Tape.
DCT: Discrete Cosine Transform.

DCC: Directed Channel Change.
DECT: Digital Enhanced Cordless Telecommunications.
DFT: Discrete Fourier Transform.
DMB: Digital Multimedia Broadcasting.
DOM: Document Object Model.
DQPSK: Differential Quadrature Phase Shift Keying.
DRM: Digital Rights Management.
DSL: Digital Subscriber Line.
DSP: Digital Signal Processor.
DTA: Digital Transmission Adapter.
DTMB: Digital Terrestrial Multimedia Broadcast.
DTS: Distributed Transmission System.
DTS: Decoding Time Stamp.
DTV: Digital Television.
DV: Digital Video.
DVB: Digital Video Broadcasting.
DVB-CBMS: Digital Video Broadcasting-Stands for Convergence of Broadcast and Mobile.
DVB-H: Digital Video Broadcasting-Handheld.
DVB-NGH: Digital Video Broadcasting-Next Generation Handheld.
DVB-S2: Digital Video Broadcasting-Second Generation Satellite
DVB-SH: Digital Video Broadcasting-Satellite Handheld.
DVB-T: Digital Video Broadcasting–Terrestrial.
DVB-T2: Digital Video Broadcasting-Second Generation Terrestrial.
DVD: Digital Versatile Disc.
DVR: Digital Video Recorder.
EDGE: Enhanced Data Rates for GSM Evolution.
eMBMS: enhanced-Multimedia Broadcast Multicast Service.
ER-BSAC: Error Resilient-Bit Sliced Arithmetic Coding.
ERT-VR: Extended Real Time-Variable-Rate services.
ES: Elementary Stream.
ESG: Electronic Service Guide.
ETRI: Electronics and Telecommunications Research Institute.
EV-DO: Evolution-Data Optimized.
EXIF: Exchange Image File Format.
FCH: Frame Control Header.
FCS: Fast Channel Switching.
FDD: Frequency Division Duplex.
FDD-CDMA: Frequency Division Duplex- Code Division Multiple Access.
FDMA: Frequency Division Multiple Access.
FEF: Future Extension Frame.
FFT: Fast Fourier Transformation.
FGS: Fine-Grain Scalability.
FGTS: Fine-Grain Temporal Scalability.
FIC: Fast Information Channel.
FIFA: Federación Internacional del Fútbol Asociado.
FM: Frecuencia Modulada.
FMS: Flash Media Server.

FLUTE: File Delivery over Unidirectional Transport.
FoBTV: Future of Broadcast Television.
FOMA: Freedom of Mobile Multimedia Access.
FRAND: Fair, Reasonable And Non-Discriminatory.
FTP: File Transfer Protocol.
ftyp: File Type Box.
GA: Grand Alliance.
GIF: Graphics Interchange Format.
GMR: Geostationary-Earth-Orbit Mobile Radio-Interface.
GMSK: Gaussian Minimum Shift Keying.
GPL: General Public License.
GPRS: General Packet Radio Service.
GPS: Global Positioning System.
GSA: Global mobile Suppliers Association.
GSM: Global System for Mobile communications.
HBO: Home Box Office.
HD: High Definition.
HD-MAC: High Definition-Multiplexed Analogue Components.
HDR: High Data Rate.
HE AAC v2: High Efficiency Advanced Audio Coding version 2.
HEVC: High Efficiency Video Coding.
HHR: Half Horizontal Resolution.
HSCSD: High Speed Circuit-Switched Data.
HSDPA: High Speed Downlink Packet Access.
HSPA+: High-Speed Packet Access plus.
HSUPA: High Speed Uplink Packet Access.
HTTP: Hypertext Transfer Protocol.
HVCX: Harmonic Vector eXcitation.
IBA: Independent Broadcasting Authority.
IBOC: In Band On Channel.
ICANN: Internet Corporation for Assigned Names and Numbers.
ICT: Inverse Cosine Transform.
ID: Identification.
IDR: Instantaneous Decoding Refresh.
IEC: International Electrotechnical Commission.
IEFT: Internet Engineering Task Force.
iMB: integrated Mobile Broadcast.
IMPS: Instant Messaging and Presence Services.
IMS: IP Multimedia System.
IMTC: International Multimedia Telecommunications Consortium.
IP: Internet Protocol.
IPDC: Internet Protocol Datacast.
IP-OFDMA: Internet Protocol-Orthogonal Frequency Division Multiplexing.
IS-95: Interim Standard 95.
ISDB: Integrated Services Digital Broadcasting.
ISDB-C: Integrated Services Digital Broadcasting-Cable.
ISDB-S: Integrated Services Digital Broadcasting-Satellite.
ISDB-T: Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial.

ISDB-T 1 Seg: Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial 1 Segment.
ISDB-Tmm: Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial multimedia.
ISDB-T_{SB}: Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial Sound Broadcasting.
ISO: International Organization for Standardization.
ITU: International Telecommunication Union.
Java ME: Java Micro Edition.
JPEG: Joint Picture Expert Group.
JSC: Joint Stereo Coding.
JSR: Java Specification Request.
JTACS: Japanese Total Access Communication System.
JVM: Java Virtual Machine.
MAC: Media Access Control.
MAP: Mobile Application Part.
MBCO: Mobile Broadcasting Corporation.
MBMS: Multimedia Broadcast Multicast Services.
MBS: Multicast and Broadcast Service.
MDS: MediaFLO Distribution System.
MDTV: Mobile DTV Alliance.
MediaFLO: Media Forward Link Only.
MFD: Mobiles Fernsehen Deutschland.
MIDI: Musical Instrument Digital Interface.
MIDP: Mobile Information Device Profile.
MIMO: Multiple-Input Multiple-Output.
MISO: Multiple Input Single Output.
MJPEG: Motion JPEG.
MKV: Matroska Multimedia Container Format.
MMD: Multi-Media Domain.
MMS: Multimedia Messaging Service.
MLC: Multicast Logical Channel.
MP3: MPEG-1 Audio Layer III o MPEG-2 Audio Layer III.
MPE: Multi-Protocol Encapsulation.
MPEG: Moving Pictures Expert Group.
MPEG-DASH: Moving Pictures Expert Group-Dynamic Adaptive Streaming over HTTP.
MPEG-2 TS: Moving Pictures Expert Group-2 Transport Stream.
MPEG-4 SL: Moving Pictures Expert Group-4 Synchronization Layer.
MPE-FEC: Multiprotocol Encapsulation-Forward Error Correction.
MPG: MediaFLO Media Presentation Guide.
MP@ML: Main Profile at Main Level.
MSM: Mobile Station Modem.
MSR: Medium Screen Rendering.
MSS: Satellite Based Mobile Services.
MTG: Modern Times Group.
MTMS: MediaFLO Transcode and Multiple System.
MUSICAM: Masking-pattern Universal Sub-band Integrated Coding And Multiplexing.
MXF: Material Exchange Format.
NAB: National Association of Broadcasters
NAL: Network Adaptación Layer.

NMT: Nordic Mobile Telephony.
NMTV: Norwegian Mobile TV Corporation.
nrtPS: Non Real Time Polling Service.
NTASC: Narrowband Total Access Communication System.
NTSC: National Television System Committee.
NTT: Nippon Telegraph and Telephone.
LAN: Local Area Network.
LCD: Liquid Crystal Display.
LFE: Low Frequency Effects.
LNB: Low Noise Block.
LPDC: Low Density Parity Check.
LTE: Long Term Evolution.
LTE eMBMS: Long Term Evolution enhanced-Multimedia Broadcast Multicast Service.
LTP: Long-Term Predictor.
LZW: Lempel Ziv Welch.
OFCA: Office of Communication Authority.
OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing.
OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access.
OFDMA-TDD: Orthogonal Frequency Division Multiple Access-Time Division Duplex.
OHA: Open Handset Alliance.
OIS: Overhead Information Symbol.
OMA: Open Mobile Alliance.
OMA-BCAST: Open Mobile Alliance-Mobile Broadcast Services Enabler Suite.
OMAP: Open Multimedia Applications Platform.
OMA-REM: Open Mobile Alliance–Rich Media Environment.
OMS: China Mobile’s Open Mobile System.
OMVC: Open Mobile Video Coalition.
OSF: Open Security Framework.
OSI: Open System Interconnection.
OTT: Over The Top.
PAL: Phase Alternated Line.
PAT: Program Association Tables.
PCM: Pulse Code Modulated.
PCR: Program Clock Reference.
PCS: Personal Communications Service.
PDA: Personal Digital Assistant.
PDF: Portable Document Format.
PDP: Packet Data Protocol.
PES: Packetized Elementary Stream.
PHS: Personal Handyphon System.
PIM: Personal Information Manager.
PIT: Prescaled Integer Transform.
PMP: Personal Media Player.
PND: Portable Navigation Device.
PNG: Portable Network Graphics.
PNM: People Near Me.

PNS: Perceptual Noise Substitution.
PLP: Physical Layer Pipes.
Ppi: pixels per inch.
PS: Packet-Switched.
PS: Parameterized Representation.
PS: Program Stream.
PSIP: Program Service and Information Protocol.
PSS: Packet-Switched Streaming.
PSS-AG: Packet-Switched Streaming Activity Group.
PTS: Presentation Time Stamp.
QCELP: Qualcomm Code-Excited Linear Prediction.
QCIF: Quarter Common Intermediate Format.
QoS: Quality of Service.
QSIF: Quarter Source Input Fomat.
QVGA: Quarter Video Graphics Array.
RAN: Radio Access Nodes.
RCA: Radio Corporation of America.
RDSI: Red Digital de Servicios Integrados.
RGB: Red, Green and Blue.
RFID: Radio Frequency IDentification.
RIM: Research In Motion limited.
RISC: Reduced Instruction Set Computer.
RLE: Run-Length Encoding.
RPC: Reunión Preparatoria de Conferencias.
RTC: Red Telefónica Conmutada.
RTCP: Real Time Control Protocol.
RTF: Rich Text Formatting.
RTMP: Real Time Messaging Protocol.
RTP: Real-time Transport Protocol.
rtPS: Real Time Polling Service.
RTSP: Real Time Streaming Protocol.
RTT: Real-Time Text.
RUIM: Removable User Identify Module.
SARFT: State Administration of Radio, Film, and Television.
SBR: Spectral Band Replication.
SCH: Supplemental Channel.
SDI: Serial Digital Interface.
SDK: System Development Kit.
S-DMB: Satellite-Digital Multimedia Broadcasting.
SDP: Session Description Protocol.
SECAM: Séquentiel Couleur à Mémoire.
SFN: Single Frequency Network.
SHF: Super High Frequency.
SHIP: Satellite Handheld Initalization Packet.
SIF: Source Input Fomat.
SIM: Subscriber Identity Module.
SIP: Session Initiation Protocol.
SMIL: Synchronized Multimedia Integration Language.

SMPTE: Society of Motion Picture and Television Engineers.
SMS: Short Message Service.
SNR: Signal to Noise Ratio.
SoC: System-on-a-Chip.
STiMi: Satellite and Terrestrial Interactive Multiservice Infrastructure.
SS: Subscriber Stations.
SSD: Signal Space Diversity.
SSR: Scalable Sampling Rate profile.
SSR: Small Screen Rendering.
STC: System Time Clock.
SVC: Scalable Video Coding.
SVCD: Super Video Compact Disc.
SVG: Scalable Vector Graphics.
SVG-T: Scalable Vector Graphics-Tiny.
SWF: Small Web Format.
SXGA: Super Extended Graphics Array.
SYMM: Synchronized Multimedia Activity.
TACS: Total Access Communication System.
TCP: Transmission Control Protocol.
TCP/IP: Transmission Control Protocol/Internet Protocol.
TD-CDMA: Time Division-Code Division Multiple Access.
TDD: Time Division Duplex.
TDM: Time-division multiplexing.
TDMA: Time Division Multiple Access.
TDMA-FT: Time Division Multiple Access-File Transfer.
TD-MBMS: Time Division-Multimedia Broadcast Multicast Service.
T-DMB: Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting.
TDD: Time-Division Duplex.
TD-SCDMA: Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access.
TDT: Televisión Digital Terrestre.
TDtv: Time Division Multiplexed television.
TFS: Time Frequency Slicing.
TIA: Telecommunications Industry Association.
TIC: Tecnologías de la Información y la Comunicación.
TIFF: Tagged Image File Format.
TiMi: Terrestrial Interactive Multiservice Infrastructure.
TMCC: Transmission and Multiplexing Configuration Control.
TLD: Top Level Domain.
TS: Transport Stream.
TSG: Technology and Standards Group.
TPS: Transport Stream Packet.
TPS: Transmitter Parameter Signaling.
TS-SCDMA: Time Division Synchronous Code Division Multiple Access.
TSG GERAN: Technical Specification Group GSM EDGE Radio Access Network.
TTA: Telecommunications Technology Association of Korea.
UDP: User Datagram Protocol.
UDP/IP: User Datagram Protocol/Internet Protocol.
UER: Unión Europea de Radiodifusión.

UGS: Unsolicited Grant Services.
UHDTV: Ultra-High-Definition Televisión.
UHF: Ultra High Frequency.
UICC: Universal Integrated Circuit Card.
UIQ: User Interface Quartz.
UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones.
UMB: Ultra Mobile Broadband.
UMTS: Universal Mobile Telecommunications System.
UPnP: Universal Plug and Play.
URL: Uniform Resource Locator.
USB: Universal Serial Bus.
USIM: Universal Subscriber Identity Module.
UTRA: Universal Terrestrial Radio Access.
UTRAN: UMTS Terrestrial Radio Access Network.
VCL: Video Coding Layer.
VGA: Video Graphics Array.
VHF: Very High Frequency.
VLC: Variable-Length Code.
VoD: Video on Demand.
VPEG: Video Coding Expert Group.
W3C: World Wide Web Consortium.
WAV: Waveform Audio File Format.
WAP: Wireless Access Protocol.
WBMP: Wireless Bitmap.
WCDMA: Wideband Code Division Multiple Access.
WiBro: Wireless Broadband.
WiMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access.
WMV: Windows Media Video.
WMF: Windows Metafile.
WML: Wireless Markup Language.
WLAN: Wireless Local Area Network.
WPF: Windows Presentation Foundation.
WRC: World Radiocommunication Conference.
WWRF: Wireless World Research Forum.
XAML: eXtensible Application Markup Language.
XGA: Extended Graphics Array.
XML: eXtensible Markup Language.
XHTML: eXtensible HyperText Markup Language.
XHTML-MP: eXtensible HyperText Markup Language-Mobile-Profile.

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Foto 1. Dispositivo IC TV MODEL TR-001 de Panasonic.	51
Foto 2. Dispositivo NTT DoCoMo N702iD con capacidad FOMA.	77
Foto 3. Dispositivo con capacidad 1 Seg.	78
Foto 4. Dispositivo Sony Z1010.	80
Foto 5. Dispositivo Nokia 7710.	89
Foto 6. Dispositivos GSM de 1991.	163
Foto 7. Tienda de NTT DoCoMo en Tokio anunciando el sistema FOMA.	166
Foto 8. Modelo V601N de NEC.	199
Foto 9. Modelo Samsung Mondy con tecnología WiMAX.	209
Foto 10. Modelos FOMA 900i.	265
Foto 11. Chipset MSM6500 de Qualcomm.	268
Foto 12. Samsung SCH-B100.	269
Foto 13. Modelo Nokia 808 PureView.	279
Foto 14. Una PDA con el sistema operativo Palm OS.	282
Foto 15. Un LG U960 recibiendo una señal de televisión en directo.	284
Foto 16. Un teléfono móvil HTC Smart con BREW.	285
Foto 17. Un teléfono móvil HTC Dream con Android.	286
Foto 18. Gama de productos Apple compatibles con iOS 8.	289
Foto 19. Gama de productos BlackBerry.	292
Foto 20. Teléfono móvil/PDA Grundig GR980.	304
Foto 21. Teléfono móvil iPhone 3G.	306
Foto 22. Teléfono móvil Samsung Z560.	307
Foto 23. Teléfono móvil HTC Apache.	308
Foto 24. Teléfono móvil E-ten Glofiish V900.	309
Foto 25. Teléfono móvil Nokia N92.	310
Foto 26. Teléfono móvil LG Voyager.	311
Foto 27. Teléfono móvil Motorola Krave ZN4.	312
Foto 28. Teléfono móvil Sharp 905SH.	313
Foto 29. Teléfono móvil Samsung SCH-B500.	314
Foto 30. Teléfono móvil Lenovo TD39T CMMB TV.	315

Foto 31. Teléfono móvil Lenovo HTC MAX 4G.....	316
Foto 32. Teléfono móvil Samsung SPH-M8100.	317
Foto 33. Navegador Mio C728.....	318
Foto 34. Modelo P900 DMB de Samsung.....	359
Foto 35. Modelo PTV-350.	379
Foto 36. Modelo HTC Max 4G.	401
Foto 37. Representación del satélite ICO G1.	428

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Adopción de estándares de televisión digital por regiones del mundo.	53
Figura 2. Esquema del flujo de contenidos en la televisión digital en movilidad.	61
Figura 3. El teléfono móvil como centro de contenidos.....	62
Figura 4. Esquema de los formatos en las plataformas de desarrollo y difusión de contenidos.....	70
Figura 5. Esquema del desarrollo de los servicios de televisión móvil en Japón.....	78
Figura 6. Distintos tipos de formatos de pantalla y sus píxeles.....	93
Figura 7. A la izquierda, diferentes resoluciones de imagen NTSC. A la derecha, diferentes resoluciones de imagen PAL.	94
Figura 8. Ejemplo de técnica de Transformación Discreta de Coseno (DCT).	97
Figura 9. Escaneado de imágenes.....	100
Figura 10. Esquema de la señal de vídeo.....	101
Figura 11. Escaneado entrelazado y progresivo.	103
Figura 12. Representación de la señal RGB de unas barras de color.	104
Figura 13. Esquema de las señales de vídeo analógicas.....	105
Figura 14. Esquema de la compresión temporal en MPEG-2.	111
Figura 15. Esquema de un ejemplo de compresión.....	113
Figura 16. Esquema de un flujo de transporte MPEG-2.	115
Figura 17. Esquema de decodificación MPEG-4 basada en objetos.....	117
Figura 18. Esquema de la codificación H.264/AVC.	120
Figura 19. Esquema del funcionamiento de los archivos contenedor.	131
Figura 20. Representación del muestreo de una onda de audio.	132
Figura 21. Esquema de los formatos de MPEG para audio.....	137
Figura 22. Esquema de un servidor de vídeo en <i>streaming</i>	140
Figura 23. Esquema de la evolución de los sistemas de telefonía móvil.....	143
Figura 24. Tasas de transmisión de datos en redes de telefonía móvil.....	148
Figura 25. Esquema de las líneas de evolución de las tecnologías móviles.....	152
Figura 26. Esquema de las líneas de estandarización de las redes 3G.	154
Figura 27. Esquema de los elementos de la multimedia en movilidad en el entorno de la telefonía móvil.	171

Figura 28. Ejemplo de la adaptación de <i>software</i> para entornos en movilidad.	172
Figura 29. Servicios y estándares 3GPP.	176
Figura 30. Esquema del formato de archivo MPEG en ISO.	180
Figura 31. Esquema de Rich Media en SMIL.	186
Figura 32. Esquema de un documento SMIL.	188
Figura 33. Mapa de cobertura de la TDT en España en 2010.	207
Figura 34. Tecnologías para la radiodifusión de la televisión digital en movilidad.	210
Figura 35. <i>Broadcast</i> y <i>unicast</i>	211
Figura 36. Tecnologías para la televisión digital en movilidad.	216
Figura 37. Espectro para la televisión digital terrestre.	218
Figura 38. Esquema del sistema de transmisión DVB-H.	222
Figura 39. Esquema del sistema de transmisión T-DMB.	225
Figura 40. Esquema del sistema de transmisión MediaFLO.	228
Figura 41. Esquema del sistema de transmisión ISDB-T.	230
Figura 42. Distribución general de las tecnologías para la televisión digital en movilidad.	231
Figura 43. Esquema general de la asignación de frecuencias en el mundo.	241
Figura 44. Esquema de la asignación de frecuencias para la televisión digital en movilidad.	242
Figura 45. Esquema de la asignación de frecuencias para las IMT-2000 en Europa. ..	249
Figura 46. Esquema de la arquitectura de un teléfono móvil multimedia.	260
Figura 47. Diseño de referencia del chip DTV100x de Texas Instruments.	264
Figura 48. Esquema de la arquitectura de un teléfono móvil con DVB-H.	267
Figura 49. Esquema de la arquitectura básica de las APIs y el <i>software</i> en un teléfono móvil.	274
Figura 50. Esquema de la arquitectura básica de un teléfono móvil.	276
Figura 51. Arquitectura de transporte de contenido Flash cliente-servidor.	295
Figura 52. Clasificación de tipos de dispositivos móviles para la televisión digital en movilidad.	299
Figura 53. Esquema de la interoperabilidad entre redes 3GPP y 3GPP2.	323
Figura 54. <i>Unicast</i> , <i>multicast</i> y <i>broadcast</i>	329
Figura 55. Esquema de una red de radiodifusión 3GPP.	335

Figura 56. Esquema de una red <i>multicast-unicast</i> .	338
Figura 57. Esquema del <i>multiplexado</i> de canales en el sistema DAB.	350
Figura 58. Esquema de la evolución del servicio DMB basado en DAB.	351
Figura 59. Esquema del sistema DMB.	352
Figura 60. Esquema de la transmisión de servicios T-DMB en Corea del Sur.	355
Figura 61. Esquema de la señal T-DMB.	357
Figura 62. Esquema de la señal S-DMB.	358
Figura 63. Esquema de la señal CMMB.	362
Figura 64. Ancho de banda de la portadora de ATSC empleado para el transporte de vídeo digital para dispositivos en movilidad.	366
Figura 65. Esquema de un sistema ATSC M/H.	367
Figura 66. Esquema de los formatos de vídeo en el sistema ATSC M/H.	368
Figura 67. Esquema de <i>multiplexado</i> de canales en ATSC M/H.	369
Figura 68. Esquema de la señal MediaFLO.	375
Figura 69. Esquema del sistema ISDB-T.	381
Figura 70. Esquema del sistema de transmisión jerárquica en dos capas.	383
Figura 71. Esquema del sistema de transmisión 1 Seg.	387
Figura 72. Esquema del sistema WiMAX.	397
Figura 73. Esquema de la señal en WiMAX.	397
Figura 74. Esquema del sistema DVB-H.	404
Figura 75. DVB-H IP <i>Datacasting</i> .	407
Figura 76. Estructura del <i>frame</i> MPE-FEC.	409
Figura 77. Esquema de configuración DVB-H con <i>múltiplex</i> compartido.	411
Figura 78. Esquema de configuración DVB-H en red jerárquica compartida.	411
Figura 79. Adopción de los formatos de la televisión digital en el mundo.	418
Figura 80. Esquema del sistema DVB-SH-A.	421
Figura 81. Esquema del sistema DVB-SH-B.	421
Figura 82. Encapsulación y modulación de la señal en DVB-SH.	423
Figura 83. Esquema de la estructura de un sistema DVB-SH.	426
Figura 84. Esquema de un análisis DAFO.	467
Figura 85. Modelo de matriz DAFO.	469

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clases de servicios multimedia.	73
Tabla 2. Formatos típicos de resolución.	95
Tabla 3. Formatos de imagen típicos.	99
Tabla 4. Tasas de muestreo recomendadas para vídeo digital por componentes PAL.	107
Tabla 5. Líneas activas en estándares de vídeo digital.	107
Tabla 6. Estándares de SDI según la SMPTE.	108
Tabla 7. Estándares de vídeo de la UIT.	108
Tabla 8. Estándares para dispositivos con pantallas pequeñas.	109
Tabla 9. Tasas de transmisión de datos para dispositivos con pantallas pequeñas.	112
Tabla 10. Perfiles MPEG-4 para dispositivos móviles.	116
Tabla 11. Perfiles H.264/AVC.	121
Tabla 12. Perfiles AVS-M.	123
Tabla 13. Perfiles DivX.	128
Tabla 14. Frecuencias de muestreo más comunes.	132
Tabla 15. Tasas de muestreo de audio.	133
Tabla 16. Tasas de transmisión de datos para <i>streaming</i> en QuickTime.	141
Tabla 17. Formatos de archivo multimedia digital.	142
Tabla 18. Desarrollo de servicios para líneas de telefonía móvil.	160
Tabla 19. Clases de servicios WCDMA según el estándar 3GPP.	161
Tabla 20. Operadores de redes móviles en los Estados Unidos.	165
Tabla 21. Formatos de archivo 3GPP para redes 3G-324M.	179
Tabla 22. Conjunto de protocolos 3GPP-PSS.	187
Tabla 23. Formatos de archivos multimedia.	198
Tabla 24. Vías de desarrollo para la televisión digital en movilidad.	205
Tabla 25. Principales estándares de radio y televisión digital terrestre por países.	214
Tabla 26. Comparativa DVB-T y DVB-H.	220
Tabla 27. <i>Códecs</i> empleados por el sistema DAB.	224
Tabla 28. Características de los estándares de televisión digital en movilidad sobre redes terrestres.	234
Tabla 29. Comparación de los estándares de televisión móvil en <i>broadcast</i>	236

Tabla 30. Asignación de bandas de frecuencia para servicios en movilidad 2G y 2.5G según la recomendación ITU-R M.1073-1.....	238
Tabla 31. Asignación de bandas de frecuencia para servicios multimedia en IMT-2000 según la normativa ITU M.1036.	239
Tabla 32. Asignación de bandas de frecuencia para la radiodifusión de televisión (puede variar por países).	245
Tabla33. Asignación de bandas de frecuencia para telefonía móvil en la India.	255
Tabla 34. Asignación de bandas de frecuencia para WiMAX.	256
Tabla 35. Funciones y aplicaciones de los teléfonos móviles multimedia.....	259
Tabla 36. Funciones de los distintos tipos de teléfonos móviles.....	300
Tabla 37. Características esenciales de los teléfonos móviles multimedia.	301
Tabla 38. Evolución de la tasa de transmisión de datos en los estándares de telefonía móvil.....	330
Tabla 39. Tasas de transmisión de datos y canales de vídeo según el tipo de red.....	331
Tabla 40. Comparativa de las características del sistema 3GPP (versiones 4, 5 y 6)... 333	
Tabla 41. Clases de Calidad de Servicio (QoS) en redes UMTS.	343
Tabla 42. Los estándares 3G.....	345
Tabla 43. Modos de transmisión en DAB.	352
Tabla 44. Comparativa S-DMB con T-DMB.	354
Tabla 45. Características tecnológicas de T-DMB.....	355
Tabla 46. Características tecnológicas de S-DMB.	358
Tabla 47. Estado de implantación mundial de los estándares DAB, DAB+ y DMB... 361	
Tabla 48. Características tecnológicas de MediaFLO.....	378
Tabla 49. Parámetros de los modos de transmisión en ISDB-T.....	381
Tabla 50. Tasas de transmisión de datos para ISDB-T Modo 3 con intervalo de guarda de 1/8.	381
Tabla 51. Tasas de transmisión de datos para contenido 1 Seg en QPSK 2/3.....	382
Tabla 52. Parámetros del estándar MPEG-2 AAC.....	385
Tabla 53. Parámetros de codificación de audio para ISDB-T.	385
Tabla 54. Parámetros de codificación de audio para 1 Seg.	386
Tabla 55. Características tecnológicas de WiMAX.....	398
Tabla 56. Porcentaje de población con cobertura WiMAX en España.	402

Tabla 57. Parámetros de la capa física en el sistema DVB-SH.....	424
Tabla 58. <i>Frame</i> y tasas de transmisión de datos en DVB-SH-A (banda S a 5 MHz).	425
Tabla 59. Ejemplo de parámetros de un sistema DVB-SH.	425
Tabla 60. Comparativa tecnológica de 8 estándares para la televisión digital en movilidad de la primera generación.	466
Tabla 61. Análisis DAFO de 3G MBMS.	473
Tabla 62. Análisis DAFO de T-DMB.	474
Tabla 63. Análisis DAFO de ATSC M/H.	475
Tabla 64. Análisis DAFO de MediaFLO.	476
Tabla 65. Análisis DAFO de ISDB-T 1 Seg.	477
Tabla 66. Análisis DAFO de WiMAX.	478
Tabla 67. Análisis DAFO de DVB-H.....	479
Tabla 68. Análisis DAFO de DVB-SH.	480
Tabla 69. Comparativa DAFO de los estándares de la primera generación.....	481
Tabla 70. Comparativa tecnológica de 8 estándares para la televisión digital en movilidad de la segunda generación.....	484
Tabla 71. Análisis DAFO de LTE eMBMS.	485
Tabla 72. Análisis DAFO de AT-DMB.	486
Tabla 73. Análisis DAFO de DTMB.....	487
Tabla 74. Análisis DAFO de ATSC 3.0.	488
Tabla 75. Análisis DAFO de ISDB-Tmm.	489
Tabla 76. Análisis DAFO de DVB-NGH.....	490
Tabla 77. Comparativa DAFO de los estándares de la segunda generación.	491
Tabla 78. Comparativa de los resultados de los estándares de la primera y la segunda generación.....	492
Tabla 79. Modelo comparativo propuesto.....	494

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Comparación de las prestaciones de MPEG-2, MPEG-4 (ASP) y H.264... ..	119
--	-----

BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abramson, A. (2002). *The History of Television, 1942 to 2000*. Jefferson, Estados Unidos: McFarland.
- Alabau Muñoz, A. (2001). *La Unión Europea y su Política para la Sociedad de la Información. En el Umbral de una Nueva Gobernanza Europea*. Madrid: Fundación Vodafone.
- Albarran, A. B., Chan-Olmsted, S. M., & Wirth, M. O. (Eds.) (2006). *Handbook of Media Management and Economics*. Mahwah, Estados Unidos: Routledge.
- Alcolea, G. (2003). *La televisión digital en España*. Sevilla: Comunicación Social Ediciones y Publicaciones.
- Alencar, M.S. (2009). *Digital Television Systems*. Nueva York, Estados Unidos: Cambridge University Press.
- Alvarado de Salas, A. Y. (2014). *Las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC): Agente Socializador en la Alborada del siglo XXI*. Saarbrücken, Alemania: EAE Editorial Academia Española.
- Álvarez Monzoncillo, J. M. (2011). *La televisión etiquetada: nuevas audiencias, nuevos negocios*. Madrid: Planeta.
- Arnanz, C. M. (2002). *Negocios de televisión: Transformaciones del valor en el modelo digital*. Barcelona: Gedisa.
- Atkin, D. J. & Lin, C. A. (Eds.) (2007). *Communication Technology and Social Change: Theory and Implications*. Mahwah, Estados Unidos: Routledge.
- Banarjee, I. & Kaligan, S. (2005). *Public Service Broadcasting: A best practice sourcebook*. UNESCO.
- Ballesteros, F. (2002). *La brecha digital. El riesgo de exclusión en la Sociedad de la Información*. Madrid: Retevisión.
- Beach, A. (2009). *Técnicas de compresión de vídeo*. Madrid: Anaya Multimedia.
- Benoit, H. (1999). *Satellite Television. Analogue and Digital Reception Techniques*. Londres, Reino Unido: Arnold.
- Benoit, H. (2008). *Digital Television: Satellite, Cable, Terrestrial, IPTV, Mobile TV in the DVB Framework*. Burlington, Estados Unidos: Elsevier.
- Bethencourt Machado, T. (1991). *Sistemas de televisión: Clásicos y avanzados*. Madrid: Instituto Oficial de Radio y Televisión.
- Beutler, R. (2011). *The Digital Dividend of Terrestrial Broadcasting*. Nueva York, Estados

Unidos: Springer.

Beutler, R. (2004). *Frequency Assignment and Network Planning for Digital Terrestrial Broadcasting Systems*. Boston, Estados Unidos: Springer.

Bianchi, A., & Richeri, G. (Eds.) (1996). *Telecommunication: New Dynamics and Driving Forces*. Ámsterdam, Países Bajos: IOS Press.

Blair, R. (1999). *Digital Techniques in Broadcasting Transmission*. Boston, Estados Unidos: Focal Press.

Boddy, W. (2004). *New Media and Popular Imagination: Launching Radio, Television and Digital Media in the United States*. Oxford University Press.

Bou Bauzá, G. (1997). *El Guión Multimedia*. Madrid: Anaya Multimedia.

Bretz, R. (1983). *Media for Interactive Communication*. Beverly Hills, Estados Unidos: SAGE Publications, Inc.

Brown, A., & Picard, R. G. (Eds.) (2004). *Digital Terrestrial Television in Europe*. Mahwah, Estados Unidos: Routledge.

Bustamante, E. (2013). *Historia de la Radio y la Televisión en España. Una asignatura pendiente de la democracia*. Barcelona: Gedisa.

Cardona, N., Olmos, J. J., García, M., & Monserrat, J. F. (2011). *3GPP LTE: Hacia la 4G móvil*. Barcelona: Marcombo.

Caridad Sebastián, M. (Ed.) (1999). *La Sociedad de la Información: Política, Tecnología e Industria de los Contenidos*. Madrid: Editorial Universitaria Ramón Areces.

Caridad Sebastián, M., & Nogales Flores J. T. (Eds.) (2004). *La Información en la Posmodernidad: La Sociedad del Conocimiento en España e Iberoamérica*. Madrid: Editorial Universitaria Ramón Areces.

Castells, M. (2001). *La Galaxia Internet*. Barcelona: Plaza & Janés.

Castells, M. (2011). *The Rise of the Network Society: The Information Age: Economy, Society, and Culture Volume I*. Wiley.

Castells, M., Barrera, A., Casal, P., Castaño, C., Escario, P., Melero, J., & Nadal, J. (1986). *El Desafío Tecnológico. España y las nuevas tecnologías*. Madrid: Alianza Editorial.

Castillo, J. M. (2013). *Televisión, Realización y Lenguaje Audiovisual*. Madrid: Instituto Oficial de Radio y Televisión.

Chan-Olmsted, S. M. (2006). *Competitive Strategy for Media Firms: Strategic and Brand Management in Changing Media Markets*. Mahwah, Estados Unidos: Routledge.

Chen, H-H. (2007). *Next Generation CDMA Technologies*. Chichester, Reino Unido: Wiley.

Chiariglione, L. (Ed.) (2011). *The MPEG Representation of Digital Media*. Nueva York, Estados Unidos: Springer.

- Cipriano Quirós, R. (2010). *Lengua y Tecnologías de la Información y las Comunicaciones*. Madrid: Planeta.
- Colmenar Braojos, M. (2004). *Guía Práctica de Electricidad Y Electrónica*. Madrid: Cultural, S.A. de Ediciones.
- Dahlman, E., Parkvall, S., Skold, J., & Beming, P. (2008). *3G Evolution: HSPA and LTE for Mobile Broadband* (2ª Edición). Oxford, Reino Unido: Elsevier.
- Doyle, G. (2013). *Understanding Media Economics* (2ª Edición). SAGE Publications, Inc.
- Estelat, E. G. (2010). *MPEG-2. Pieza clave de la televisión digital*. Madrid: Instituto Oficial de Radio y Televisión.
- Fernández Casado, J. L., & Nohales Escribano, T. (2000). *Post-producción digital: cine y vídeo no-lineal*. Andoain: Escuela de Cine y Vídeo.
- Fischer, W. (2010). *Digital Video and Audio Broadcasting Technology: A Practical Engineering Guide* (3ª Edición). Berlín, Alemania: Springer.
- Furht, B. (Ed.) (1997). *Multimedia Technologies and Applications for the 21st Century: Visions of World Experts*. Norwell, Estados Unidos: Kluwer Academic Publishers.
- Furht, B., & Ahson, S. (Eds.) (2008). *Handbook of Mobile Broadcasting: DVB-H, DMB, ISDB-T and MediaFLO*. Boca Raton, Estados Unidos: CRC Press.
- Furht, B., & Ahson, S. (Eds.) (2009). *Long Term Evolution: 3GPP LTE Radio and Cellular Technology*. Boca Raton, Estados Unidos: CRC Press.
- Furht, B., & Ahson, S. (Eds.) (2010). *HSDPA/HSUPA Handbook*. Boca Raton, Estados Unidos: CRC Press.
- Furht, B., & Ilyas, M. (Eds.) (2003). *Wireless Internet Handbook: Technologies, Standards and Applications*. Boca Raton, Estados Unidos: CRC Press.
- García Castillejos, A. (2014). *Televisión en España. Marco Legal*. Barcelona: Editorial UOC, S.L.
- García-Calderón, E. (1980). *Televisión*. Madrid: Departamento de Publicaciones, E.T.S. Ingenieros de Telecomunicación.
- Garg, V. K. (1999). *IS-95 CDMA and cdma2000. Cellular PCS Systems Implementation*. Upper Saddle River, Estados Unidos: Prentice Hall.
- Gómez-Barquero, D. (Ed.). (2013). *Next Generation Mobile Broadcasting*. Boca Raton, Estados Unidos: CRC Press.
- Ha, L. S., & Ganahl III, R. J. (Eds.) (2013). *Webcasting Worldwide: Business Models of an Emerging Global Medium*. Mahwah, Estados Unidos: Routledge.
- Hart, J. A. (2005). *Technology, Television, and Competition: The Politics of Digital TV*. Nueva York, Estados Unidos: Cambridge University Press.

- Hartwig, R. L. (2005). *Basic TV Technology: Digital and Analog* (4ª Edición). Burlington, Estados Unidos: Focal Press.
- Hartwig, R. L. (1991). *Tecnología básica para televisión*. Madrid: Instituto Oficial de Radio y Televisión.
- Hervé, B. (1998). *Television digital: MPEG-1. MPEG-2. Sistema europeo DVB*. Madrid: Paraninfo S.A.
- Hoeg, W., & Lauterbach, T. (Eds.) (2009). *Digital Audio Broadcasting: Principles and Applications of DAB, DAB+ and DMB* (3ª Edición). Chichester, Reino Unido: Wiley.
- Huidobro, J. M. (2012). *Comunicaciones Móviles: Sistemas GSM, UMTS y LTE*. Madrid: Ra-Ma S.A.
- Ignasi Cuenca, D. (1996). *Tecnología básica del sonido; vol. I*. Madrid: Paraninfo.
- Ignasi Cuenca, D. (1996). *Tecnología básica del sonido vol. II*. Madrid: Paraninfo.
- Jensen, J. F., & Toscan, C. (Eds.) (1999). *Interactive Television: TV of the Future or the Future of TV?* Aalborg, Dinamarca: Aalborg University Press.
- Kessler, G. C. (2001). *RDSI: Conceptos, Funcionalidad y Servicios*. Madrid: McGraw-Hill Interamericana.
- Kiver, M. S. (1967). *Fundamentos de la TV en color. Teoría y práctica de los sistemas NSTC PAL SECAM*. Barcelona: Marcombo.
- Kumar, A. (2010). *Mobile TV: DVB-H, DMB, 3G Systems and Rich Media Applications*. Burlington, Estados Unidos: Focal Press.
- Kumar, A. (2012). *Implementing Mobile TV: ATSC Mobile DTV, MediaFLO, DVB-H/SH, DMB, WiMAX, 3G Systems and Rich Media Applications* (2ª Edición). Burlington, Estados Unidos: Focal Press.
- Magoun, A. B. (2009). *Television: The Life Story of a Technology*. Westport, Estados Unidos: Greenwood Publishing Group.
- Marcus, A., Cereijo Roibás, A., Sala, R. (Eds.) (2010). *Mobile TV: Customizing Content and Experience*. Nueva York, Estados Unidos: Springer.
- Martínez Abadía, J. (1993). *Introducción a la tecnología audiovisual*. Barcelona: Paidós.
- Martínez Abadía, J., & Fumás, P.V. (2004). *Manual básico de tecnología audiovisual y técnicas de creación, emisión y difusión de contenidos*. Barcelona: Paidós.
- Mattelart, A. (2002). *Historia de la Sociedad de la Información*. Barcelona: Paidós.
- Millerson, G. (2008). *Realización y producción en televisión*. Madrid: Instituto Oficial de Radio y Televisión.
- Millerson, G. (2001). *Video Production Handbook* (3ª Edición). Elsevier.
- Minoli, D. (2008). *IP Multicast with Applications to IPTV and Mobile DVB-H*. Hoboken,

Estados Unidos: Wiley.

Murphy, S. C. (2011). *How Television Invented New Media*. New Brunswick, Estados Unidos: Rutgers University Press.

Negroponte, N. (1999). *El mundo digital. El futuro que ya ha llegado*. Barcelona: Punto de Lectura.

Norman, J. M. (Ed.) (2005). *From Gutenberg to the Internet: A Sourcebook on the History of Information Technology*. Novato, Estados Unidos: Norman Publishing.

Lauro, R. C. (2010). *Transmisión de Televisión Digital Terrestre en la Norma ISDB-T_b*. Buenos Aires, Argentina: Cengage Learning Argentina.

Liu, C., & Albitz, P. (2006). *DNS and BIND* (5ª Edición). Sebastopol, Estados Unidos: O'Reilly.

Papathanassopoulos, S. (2002). *European Television in the Digital Age: Issues, Dynamics and Realities*. Malden, Estados Unidos: Blackwell.

Penttinen, J. T. J. (Ed.) (2015). *The Telecommunications Handbook: Engineering Guidelines for Fixed, Mobile and Satellite Systems*. Chichester, Reino Unido: Wiley.

Penttinen, J. T. J., Jolma, P., Aaltonen, E., & Väre, J. (2010). *The DVB-H Handbook: The Functioning and Planning of Mobile TV*. Chichester: Reino Unido: Wiley.

Peñafiel Saiz, C., & López Vidales, N. (2000). *Tecnología de la televisión. Del disco de Nipkow a la revolución numérica*. Bilbao: Universidad del País Vasco.

Peñafiel Saiz, C., & López Vidales, N. (2002). *Claves para la era digital. Evolución hacia nuevos medios, nuevos lenguajes y nuevos servicios*. Bilbao: Universidad del País Vasco.

Peñafiel Saiz, C. (2007). *Transformaciones de la radio y la televisión en Europa*. Bilbao: Universidad del País Vasco.

Perales Benito, T. (2006). *Radio y Televisión Digitales. Tecnología de los sistemas DAB, DVB, IBUC y ATSC*. Ciudad de México, México: Limusa (Grupo Noriega Editores).

Pereira, F., & Ebrahimi, T. (2002). *The MPEG-4 Book*. Upper Saddle River, Estados Unidos: Prentice Hall.

Pérez Latre, F. J., & Sánchez-Tabernero, A. (2012). *Innovación en los medios: la ruta del cambio*. Pamplona: Eunsa.

Furht, B., & Ilyas, M. (Eds.) (2007). *Wireless Internet Handbook: Technologies, Standards, and Applications*. Boca Raton, Estados Unidos: CRC Press.

Picard, R. G. (2011). *The Economics and Financing of Media Companies*. Nueva York, Estados Unidos: Fordham University Press.

Radha K. Rao, G.S.V., & Rhadamani, G. (2007). *WiMAX: A Wireless Technology*

- Revolution*. Boca Raton, Estados Unidos: CRC Press.
- Raimondo Souto, H. M. (2003). *Manual del cámara de cine y vídeo*. Madrid: Cátedra.
- Raimondo Souto, M. (2001). *Manual del Realizador Profesional de Vídeo*. Madrid: DOR Ediciones.
- Reed, T. R. (Ed.) (2007). *Digital Image Sequence Processing, Compression and Analysis*. Boca Raton, Estados Unidos: CRC Press.
- Reimers, U. (2012). *DVB: The Family of International Standards for Digital Video Broadcasting*. Berlín, Alemania: Springer.
- Richeri, G. (1994). *La transición de la televisión: Análisis del audiovisual como empresa de comunicación*. Barcelona: Bosch.
- Riegel, M., Kroeselberg, D., & Chindapol, A. (2009). *Deploying Mobile WiMAX*. Chichester, Reino Unido: Wiley.
- Sánchez-Tabernero, A. (2000). *Dirección estratégica de empresas de comunicación*. Madrid: Cátedra.
- Sauter, M. (2013). *3G, 4G and Beyond: Bringing Networks, Devices and the Web Together* (2ª Edición). Chichester: Reino Unido: Wiley.
- Smith, C., & Daniel, C. (2007). *3G Wireless Networks* (2ª Edición). Nueva York, Estados Unidos: McGraw-Hill.
- Sobel, R. (1986). *RCA*. New York, Estados Unidos: Stein and Day/Publishers.
- Solarino, C. (2000). *Cómo hacer televisión*. Madrid: Cátedra.
- Vassallo, F. R. (1986). *Televisión en color*. Barcelona: CEAC, S. A.
- Ward, P. (2002). *Cámara de Vídeo Digital*. Andoain: Escuela Cine y Vídeo.
- Watkinson, J. (2004). *The MPEG Handbook: MPEG-1 MPEG-2 MPEG-4 (MPEG-4 part 10/H.264/AVC included)* (2ª Edición). Burlington, Estados Unidos: Focal Press.
- Zettl, H. (1998). *Manual de Producción para Vídeo y Televisión*. Andoain: Escuela Cine y Vídeo.
- Zurita, H. V. (2007). *La Televisión Local Ante El Reto De La Digitalización: 9º Ciclo de Comunicación UCM*. Madrid: Fragua.

CONSULTAS WEB

3G.co.uk (<http://www.3g.co.uk/>)
3GPP (<http://www.3gpp.org/>)
3GPP2 (<http://www.3gpp2.org/>)
4G Americas (<http://www.4gamericas.org/es/>)
8052 Online Resource (<http://www.8052.com/>)
Adobe (<http://www.adobe.com/>)
Accenture (<https://www.accenture.com/>)
ACCESS Systems (<http://www.access-systems.com./>)
Advanced Media Workflow Association (<http://www.amwa.tv/>)
Afiliás (<http://afiliás.info/about-us>)
American Dialect Society (<http://www.americandialect.org/>)
Android (<https://www.android.com/>)
Alcatel-Lucent (<https://www.alcatel-lucent.com/es>)
All About Symbian (<http://www.allaboutsymbian.com/>)
All India Radio (<http://allindiaradio.gov.in/Default.aspx>)
Apple (<https://www.apple.com/es/>)
Apple Store (<http://store.apple.com/es>)
ARM (<http://www.arm.com/>)
ASCII.jp (<http://ascii.jp/>)
Asociación Española de Empresas de TV Interactiva (<http://aedeti.es/>)
Asociación Española de Investigación de la Comunicación (<http://www.ae-ic.org/esp/home.asp>)
Atmel (<http://www.atmel.com/>)
AT&T (<http://www.att.com/>)
Audio Engineering Society (<http://www.aes.org/>)
Audio Video Coding Standard Workgroup of China (<http://www.avs.org.cn/english/>)
Audio Visual Tutorials (<http://avtutes.com/>)
Axis Communications (<http://www.axis.com/es/es>)
BBC (<http://www.bbc.com/>)
Benq (<http://www.benq.com/>)
Berry Reporter (<http://www.berryreporter.com/>)
Bharti (<http://www.bharti.com/wps/wcm/connect/BhartiPortal/Bharti/home>)
Binyahya Library (<http://binyahya.com/>)
BlackBerry (<http://global.blackberry.com/es.html>)
Blog de móviles (<http://blogdemoviles.com/>)
Bloomberg (<http://www.bloomberg.com/europe>)
Boletín Oficial del Estado (<http://www.boe.es/>)
British Telecom (<http://home.bt.com/>)
Broadband TV News (<http://www.broadbandtvnews.com/>)
Broadcast Mobile Convergence Forum (<http://bmcoforum.org/>)
Broadcom (<https://www.broadcom.com/>)
BSNL (<http://www.bsnl.co.in/>)
Business Insider (<http://www.businessinsider.com/>)
Buyking (<http://www.buyking.com/>)
Casio (<http://www.casio-europe.com/es/>)
European Conference of Postal and Telecommunications Administrations

[\(http://www.cept.org/\)](http://www.cept.org/)
 China Mobile (<http://www.chinamobiletd.com/en/global/home.php>)
 China National Institute of Standardization (<http://en.cnis.gov.cn/bzygk/kyly/>)
 China Telecom (<http://en.chinatelecom.com.cn/>)
 China Unicom (<http://eng.chinaunicom.com/>)
 China Wireless News (www.chinawirelessnews.com/)
 CMMB Vision (<http://cmmbvvision.com/>)
 CNET (<http://www.cnet.com/es/>)
 Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (<http://www.cnmc.es/>)
 Consumer Electronic Show (www.cesweb.org/)
 CSL (<http://www.hkcs1.com/en/>)
 Dailymotion (<http://www.dailymotion.com/es>)
 Digital Broadcasting Experts Group (<http://www.dibeg.org/>)
 Derecom (<http://www.derecom.com/>)
 Doordarshan (<http://www.ddindia.gov.in/Pages/Home.aspx>)
 DTV Status (<http://en.dtvstatus.net/>)
 DVB (<https://www.dvb.org/>)
 DVB-H (<http://www.dvb-h-online.org/>)
 Echo Star Mobile (<http://echostarmobile.com/>)
 Engadget (<http://www.engadget.com/>)
 El Economista (www.eleconomista.es)
 Electronic Arts Intermix (<http://www.eai.org/index.htm>)
 El Mundo (<http://www.elmundo.es/>)
 Ericsson (<http://www.ericsson.com/>)
 Electronics and Telecommunications Research Institute
 (<https://www.etri.re.kr/eng/main/main.etri>)
 EURECOM (<http://www.eurecom.fr/en>)
 European Audiovisual Observatory (<http://www.obs.coe.int/>)
 European Broadcasting Union (<http://www3.ebu.ch/home>)
 European Communication Research and Education Association (<http://www.ecrea.eu/>)
 European Union (http://europa.eu/index_en.htm)
 Eutelsat (<http://www.eutelsat.com/en/home.html>)
 Expansión (www.expansion.com/)
 Expway (<http://www.expway.com/>)
 EZ-TV (<https://eztv.ch/>)
 Federal Communications Commission (<https://www.fcc.gov/>)
 Federal Trade Commission (<https://www.ftc.gov/es>)
 FeliCa Networks (<http://www.felicanetworks.co.jp/en/>)
 Freescale (<http://www.freescale.com/>)
 Fujitsu (<http://www.fujitsu.com/global/>)
 Future of Broadcast Television (<http://www.nercdtv.org/fobtv2012/index.html>)
 Giga Android (<http://www.giga.de/androidnews/>)
 Gizmodo (<http://es.gizmodo.com/>)
 Global mobile Suppliers Association (<http://www.gsacom.com/>)
 Golden Phones (<http://golden-phones.com/>)
 Google I/O 2014 (<https://www.google.com/events/io>)
 GSM Association (<http://www.gsm.com/>)
 Hipertextual (<http://hipertextual.com/>)

Hitachi (<http://www.hitachi.com/>)
Hong Kong Applied Science and Technology Research Institute Company Limited
(<http://www.astri.org/>)
Hong Kong Mobile Television Network Limited (<http://www.hktv.com.hk/eng/>)
HP (<http://www8.hp.com/es/es/home.html>)
HTC (<http://www.htc.com/es/>)
Hutchison 3G (<http://www.three.com/>)
Hutchison Telecoms (<http://www.hutchison.com.au/>)
IEEE 802.11 (<http://www.ieee802.org/11/>)
IEEE Communications Society (<http://www.comsocscv.org/>)
IEEE Standards Association (<http://standards.ieee.org/about/get/802/802.11.html>)
Internet Assigned Numbers Authority (<http://www.iana.org/domains/root/db/mobi.html>)
Internet Corporation for Assigned Names and Numbers (<https://www.icann.org/es>)
Idea (<http://www.ideacellular.com/>)
Impulsa TDT (<http://www.impulsatdt.es/>)
Independent Broadcasting Authority (<http://www.iba.mu/>)
Institute of Communications Engineering (<http://ice.nsysu.edu.tw/bin/home.php?Lang=en>)
Institute of Electrical and Electronics Engineers (<https://www.ieee.org/index.html>)
Intel (<http://www.intel.es/content/www/es/es/homepage.html>)
International Communication Association (<https://www.icahdq.org/>)
International Electrotechnical Commission (<http://www.iec.ch/>)
International Multimedia Telecommunications Consortium (<http://www.imtc.org/>)
International Organization for Standardization (<http://www.iso.org/>)
International Telecommunication Union (<http://www.itu.int/en/>)
Internet Corporation for Assigned Names and Numbers (<https://www.icann.org/es>)
Internet Engineering Task Force (<https://www.ietf.org/>)
Itechnews (<http://www.itechnews.net/>)
Java (<https://www.java.com/es/>)
JPEG (<http://www.jpeg.org/>)
KBS (<http://english.kbs.co.kr/>)
KDDi (<http://www.kddi.com/english>)
Keithley (<http://www.keithley.com/>)
Korea Electronics Technology Institute (<http://www.keti.re.kr/e-keti/>)
KPN (<http://www.kpn.com/>)
KT (<http://www.kt.com/eng/>)
KTF (<http://www.kt.com/eng/main.jsp>)
Madri+d (<http://www.madrimasd.org/>)
Madrid Network ICT – Audiovisual (<http://www.madridnetwork.org/Estructura/Audiovisual>)
Matroska (<http://www.matroska.org/>)
MDTV Alliance (<http://www.mdtvalliance.org/>)
Mediaset (www.mediaset.es/)
Megared DX (<http://megared-dx.blogspot.com.es/>)
Microsoft (<https://www.microsoft.com/>)
Microsoft Store (http://www.microsoftstore.com/store/mseea/es_ES/home)
Ministerio de Economía y Competitividad (<http://www.idi.mineco.gob.es/>)
Ministerio de Fomento (http://www.fomento.es/mfom/lang_castellano/default.htm)
Ministerio de Industria, Energía y Turismo (<http://www.minetur.gob.es/>)
Mio (http://eu.mio.com/en_eu/)

Mitsubishi Electric (<http://www.mitsubishielectric.com/>)
m.Net Corporation (<http://mnetmobile.com/>)
MobiTv (<https://www.mobitv.com/>)
Modern Times Group (<http://www.mtg.com/>)
Motorola (<http://www.motorola.es/>)
MPEG (<http://www.mpeg.org/>)
MTNL (<http://www.mtnl.net.in/>)
MuMuDVB (<http://www.mumudvb.net/>)
National Association of Broadcasters (<https://www.nab.org/>)
National Radio Systems Committee (<http://www.nrscstandards.org/>)
NEC (<http://www.nec.com/>)
New World Mobility Group (<http://www.nwd.com.hk/>)
New York Times (<http://www.nytimes.com/>)
NexTV (<http://nextvasia.com/>)
Nokia (<http://www.nokia.com/>)
NTT Communications (<http://www.eu.ntt.com/es/index.html>)
NTT DoCoMo (<https://www.nttdocomo.co.jp/english/>)
La Nación (<http://www.lanacion.com.ar/>)
Lenovo (<http://www.lenovo.com/es/es/>)
LG (<http://www.lg.com/>)
Library of Congress (<http://www.loc.gov/>)
Linux Forums (<http://www.linuxforums.org/>)
Linux Foundation (<http://www.linuxfoundation.org/>)
Linux.org (<http://www.linux.org/>)
Open Handset Alliance (<http://www.openhandsetalliance.com/>)
Open IPTV Forum (<http://www.oipf.tv/>)
Open Mobile Alliance (<http://openmobilealliance.org/>)
Oracle (<http://www.oracle.com/>)
Ovum (<http://www.ovum.com/>)
Panasonic (<http://www.panasonic.com/es/>)
Parlamanto Europeo (<http://www.europarl.europa.eu/>)
Parrot (<http://www.parrot.com/usa/>)
PC World (<http://www.pcworld.es/home>)
Pendrell Corporation (<http://pendrell.com/>)
Philips (<http://www.philips.es/>)
Phone Arena (<http://www.phonearena.com/>)
Phys Org (<http://phys.org/>)
PlayStation (<https://www.playstation.com/es-es/>)
Polkomtel (<http://www.polkomtel.com.pl/english/>)
PortalCiencia (<http://www.portalciencia.net/>)
Public Safety Communications Research (<http://www.pscr.gov/index.htm>)
QT Corporation (<http://www.qtc.jp/>)
Qualcomm (<https://www.qualcomm.com/>)
Radio Vaticano (<http://es.radiovaticana.va/>)
Rai (<http://www.rai.tv/>)
Razón y palabra (<http://www.razonypalabra.org/>)
Real (<http://es.real.com/>)
Research and Studies Telecommunications Centre

(http://www.cert.nat.tn/index.php?option=com_content&view=article&id=22&Itemid=176)
Reuters (<http://uk.reuters.com/>)
RNCOS (<http://www.rncos.com/>)
Rockchips (<http://www.rock-chips.com/a/en/index.html>)
Samsung (<http://www.samsung.com/es/home>)
Sanyo (<http://panasonic.net/sanyo/>)
SET (<http://www.set.org.br/>)
SFR (<http://www.sfr.fr/>)
Sharp (<http://www.sharp-world.com/>)
Siano Mobile Silicon (www.siano-ms.com/)
Siemens (<http://www.siemens.com/entry/cc/en/>)
SK Telecom (<http://www.sktelecom.com/>)
SmallTao (<http://www.smalltao.com>)
Society of Motion Picture and Television Engineers (<https://www.smpte.org/>)
SoftBank (<http://www.softbank.jp/en/>)
Softpedia (<http://www.softpedia.com/>)
Sony Mobile Communications (<http://www.sonymobile.com/es/>)
Spectrummonitoring.com frequencies (<http://www.spectrummonitoring.com/frequencies/>)
Spreadtrum (<http://www.spreadtrum.com/>)
Sprint (<https://www.sprint.com/>)
Taringa (<http://www.taringa.net/>)
Tata DoCoMo (<http://www.tatadocomo.com/>)
Tata Teleservices (<http://www.tatateleservices.com/>)
TDF (<http://www.tdf.fr/>)
Tech Fresh (<http://www.techfresh.net/>)
Tech Glows (<http://www.techglows.com/>)
Tecnalia (<http://www.tecnalia.com/es/>)
Telecommunication Engineering Center (<http://www.tec.gov.in/>)
Telecommunications Industry Association (<http://www.tiaonline.org/>)
Telecommunications Technology Association of Korea (<http://www.tta.or.kr/English/>)
Telenor (<http://www.telenor.com/>)
TelePath (<http://www.telepath.com.cn/english/aboutus.asp>)
Televisión Digital (<http://www.televisiondigital.gob.es/Paginas/Index.aspx>)
Television History - The First 75 Years (<http://www.tvhistory.tv/>)
TeliaSonera (<http://www.teliasonera.com/>)
TeliaSonera History (<http://www.teliasonerahistory.com>)
TELOS. Fundación telefónica. (<http://telos.fundaciontelefonica.com/>)
Texas Instruments (<http://www.ti.com/>)
The Gadgeteer (<http://the-gadgeteer.com/>)
T-Mobile (<http://www.t-mobile.com/>)
TLC (<http://www.tlc.com/>)
Top Tech Reviews (<http://www.toptechreviews.net/>)
Toshiba (<http://www.toshiba.es/>)
Tre (<http://www.tre.it/>)
TU Media (<http://www.tumediagroup.com/>)
UMTS Forum (<http://www.ums-forum.org/>)
Uncle Tony Tv Stuff (<http://web.onetel.com/~uncleTony/index.htm>)
UNESCO (<http://en.unesco.org/>)

Unisys (<https://www.unisys.es/>)
Unwired View (<http://www.unwiredview.com/>)
U.S. Cellular (<http://www.uscellular.com/>)
Verizon (<http://www.verizon.com/>)
Vodafone (<http://www.vodafone.es/>)
Wi-Fi Alliance (<http://www.wi-fi.org/>)
WiMAX Forum (<http://www.wimaxforum.org/>)
WindowsCE Fan (<http://www.wince.ne.jp/>)
Wireless World Research Forum (<http://www.wwrf.ch/>)
WorldDMB (<http://www.worldddb.org/>)
World Intellectual Property Organization (<http://www.wipo.int/portal/en/index.html>)
World Media Economics and Management Conference (<http://www.wmemc.org/>)
World Wide Web Consortium (<http://www.w3.org/>)
Xataka (<http://www.xataka.com/>)
Xiph.Org Foundation (<https://www.xiph.org/>)
Yota (<http://www.yota.ru/en/>)

Todas las referencias web fueron consultadas por última vez el 2 de junio de 2015.

FUENTES LEGALES Y DOCUMENTOS OFICIALES

- Comisión Europea. (2005). *Comission proposes advancing the single market for radio spectrum use*. Recuperado de: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-05-1199_en.htm?locale=en
- Comisión Europea. (2007). *An EU Strategy for Mobile TV – Frequently Asked Questions*. Recuperado de: http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-07-298_en.htm?locale=en
- Comisión Europea. (2007). *Meeting today's wireless communication needs: Comission presents strategy for more flexible use of the radio spectrum*. Recuperado de: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-07-205_en.htm?locale=en
- Comisión Europea. (2008). *Mobile TV across Europe: Comission endorses addition of DVB-H to EU List of Official Standards*. Recuperado de: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-08-451_en.htm?locale=en
- Congress of the United States of America. (1934). *Communications Act of 1934*. Recuperado de: <http://transition.fcc.gov/Reports/1934new.pdf>
- Congress of the United States of America. (1998). *Digital Millenium Copyright Act*. Recuperado de: http://www.wipo.int/wipolex/en/text.jsp?file_id=337359
- European Broadcasting Union. (2010). *High Definition (HD) Image Formats for Television Production*. European Union. Recuperado de: <https://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3299.pdf>
- European Broadcasting Union. (2014). *Delivery of Broadcast Content Over LTE Networks. Technical Report*. Recuperado de: <https://tech.ebu.ch/docs/techreports/tr027.pdf>
- European Telecommunications Standards Institute. (2000). *ETSI TS 125 401 V3.4.0 (2000-09). Technical Specification. Universal Mobile Telecommunications System (UMTS);*

UTRAN Overall Description. (3GPP TS 25.401 version 3.4.0 Release 1999). European Union. Recuperado de:

http://www.etsi.org/deliver/etsi_TS/125400_125499/125401/03.04.00_60/ts_125401v030400p.pdf

European Telecommunications Standards Institute. (2000). *ETSI TS 126 111 V3.2.0 (2000-06). Technical Specification. Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Codec for Circuit Switched Multimedia Telephony Service; Modifications to H.324 (3G TS 26.111 version 3.2.0 Release 1999).* European Union. Recuperado de:

http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/126100_126199/126111/03.02.00_60/ts_126111v030200p.pdf

European Telecommunications Standards Institute. (2001). *ETSI TS 123 009 V4.1.0 (2001-06). Technical Specification. Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Handover procedures (3GPP TS 23.009 version 4.1.0 Release 4).* European Union. Recuperado de:

http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/123000_123099/123009/04.01.00_60/ts_123009v040100p.pdf

European Telecommunications Standards Institute. (2004). *ETSI EN 302 304 V1.1.1 (2004-11). Digital Video Broadcasting (DVB); Transmission System for Handheld Terminals (DVB-H).* European Union. Recuperado de:

http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302300_302399/302304/01.01.01_60/en_302304v010101p.pdf

European Telecommunications Standards Institute. (2006). *ETSI EN 300 401 V1.4.1 (2006-01). Radio Broadcasting Systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers.* European Union. Recuperado de:

http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300400_300499/300401/01.04.01_40/en_300401v010401o.pdf

European Telecommunications Standards Institute. (2007). *ETSI TS 102 592 V1.1.1 (2007-10). Technical Specification. Digital Video Broadcasting (DVB); IPDC over DVB-H: Electronic Service Guide (ESG) Implementation Guidelines.* European Union. Recuperado de:

http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102500_102599/102592/01.01.01_60/ts_102592v010101p.pdf

European Telecommunications Standards Institute. (2009). *ETSI TR 102 377 V1.4.1 (2009/06). Technical Report. Digital Video Broadcasting (DVB); DVB-H Implementation Guidelines.* European Union. Recuperado de:

http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/102300_102399/102377/01.04.01_60/tr_102377v010401p.pdf

European Telecommunications Standards Institute. (2009). *ETSI TR 102 428 V1.2.1 (2009-04). Digital Audio Broadcasting (DAB); DMB video service; User application specification.* European Union. Recuperado de:

http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/5C102400_102499/5C102428/01.02.01_60/5Cts_102428v010201p.pdf

European Telecommunications Standards Institute. (2009). *ETSI TS 102 585 V1.1.2 (2008-04). Technical Specification. Digital Video Broadcasting (DVB); System Specifications for Satellite services to Handheld devices (SH) below 3 GHz.* European Union. Recuperado de:

http://www.etsi.org/deliver/etsi_TS/102500_102599/102585/01.01.02_60/ts_102585v010102p.pdf

European Telecommunications Standards Institute. (2010). *ETSI EN 302 583 V1.1.2 (2010-02). European Standard (Telecommunications series). Digital Video Broadcasting (DVB); Framing Structure, channel coding and modulation for Satellite Services to Handheld Devices (SH) below 3 GHz.* European Union. Recuperado de:

http://www.etsi.org/deliver/etsi_EN/302500_302599/302583/01.01.02_60/en_302583v010102p.pdf

European Telecommunications Standards Institute. (2010). *ETSI TS 123 246 V9.5.0 (2010-06). Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Architecture and functional description (3GPP TS 23.246 version 9.5.0 Release 9)*. European Union. Recuperado de: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/123200_123299/123246/09.05.00_60/ts_123246v090500p.pdf

European Telecommunications Standards Institute. (2011). *ETSI TR 102 589 V1.1.1 (2009-02). Forward Link Only Air Interface; Specification for Terrestrial Mobile; Multimedia Multicast*. European Union. Recuperado de: http://www.etsi.org/deliver/etsi_TS/102500_102599/102589/01.01.01_60/ts_102589v010101p.pdf

European Telecommunications Standards Institute. (2011). *ETSI TS 102 584 V1.2.1 (2011-01). Technical Specification. Digital Video Broadcasting (DVB); DVB-SH Implementation Guidelines*. European Union. Recuperado de: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102500_102599/102584/01.02.01_60/ts_102584v010201p.pdf

European Telecommunications Standards Institute. (2011). *ETSI TS 123 246 V10.0.0 (2011-03). Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Architecture and functional description (3GPP TS 23.246 version 10.0.0 Release 10)*. European Union. Recuperado de: http://www.etsi.org/deliver/etsi_TS/123200_123299/123246/10.00.00_60/ts_123246v100000p.pdf

European Telecommunications Standards Institute. (2011). *ETSI TS 126 290 V.10.0.0 (2011-04). Digital cellular communications system (Phase 2+); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; Audio codec processing functions; Extended Adaptive Multi-Rate – Wideband (AMR-WB+) codec; Transcoding functions (3GPP TS 26.290 version 10.0.0 Release 10)*. European Union. Recuperado de: http://www.etsi.org/deliver/etsi_TS/126200_126299/126290/10.00.00_60/ts_126290v100000p.pdf

European Telecommunications Standards Institute. (2012). *ETSI EN 302 755 V1.3.1 (2012-04). Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)*. European Union. Recuperado de: http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302700_302799/302755/01.03.01_60/en_302755v010301p.pdf

European Telecommunications Standards Institute. (2012). *ETSI TS 102 831 V1.2.1 (2012-08). Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)*. European Union. Recuperado de: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102800_102899/102831/01.02.01_60/ts_102831v010201p.pdf

Federal Communications Commission. (1996). *The Telecommunications Act of 1996*. Congress of the United States of America. Recuperado de: <http://transition.fcc.gov/Reports/tcom1996.pdf>

International Organization for Standardization. (1993). *International Standard ISO/IEC 11172-1. Information technology – Coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1,5 Mbit/s- Part 1*. Recuperado de: http://www.iec-normen.de/dokumente/preview-pdf/info_isoiec11172-1%7Bed1.0%7Den.pdf

International Organization for Standardization. (1993). *International Standard ISO/IEC 11172-2. Information technology – Coding of moving pictures and associated audio for*

digital storage media at up to about 1,5 Mbit/s- Part 2. Recuperado de: https://webstore.iec.ch/preview/info_isoiec11172-2%7Bed1.0%7Den.pdf

International Organization for Standardization. (1993). *International Standard ISO/IEC 11172-3. Information technology – Coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1,5 Mbit/s- Part 3*. Recuperado de: https://webstore.iec.ch/preview/info_isoiec11172-3%7Bed1.0%7Den.pdf

International Organization for Standardization. (2000). *International Standard ISO/IEC 13818-1. Second edition 2000-12-01. Information technology – Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems*. Recuperado de: <http://www.mumudvb.net/sites/default/files/iso13818-1.pdf>

International Organization for Standardization. (2005). *International Standard ISO/IEC 14496-10. Second edition 2005-12-15. Information technology. –Coding of audiovisual objects- Part 10: Advanced Video Coding*. Recuperado de: https://webstore.iec.ch/p-preview/info_isoiec14496-10%7Bed3.0%7Den.pdf

Ministerio de Industria, Energía y Turismo. (2005). *Real Decreto 944/2005, de 29 de julio, por el que se aprueba el Plan técnico nacional de la televisión digital terrestre*. Gobierno de España. Recuperado de: <http://www.boe.es/boe/dias/2005/07/30/pdfs/A27006-27014.pdf>

Ministerio de Industria, Energía y Turismo. (2006). *Real Decreto 920/2006, de 28 de julio, por el que se aprueba el Reglamento general de prestación de servicio de difusión de radio y televisión por cable*. Gobierno de España. Recuperado de: <http://www.boe.es/boe/dias/2006/09/02/pdfs/A31532-31538.pdf>

Ministerio de Industria, Energía y Turismo. (2010). *Real Decreto 365/2010, de 26 de marzo, por el que se regula la asignación de los múltiples de la Televisión Digital Terrestre tras el cese de las emisiones de televisión terrestre con tecnología analógica*. Gobierno de España. Recuperado de: <http://www.boe.es/boe/dias/2010/04/03/pdfs/BOE-A-2010-5400.pdf>

Ministerio de Industria, Energía y Turismo. (2014). *Presentación Real Decreto por el que se aprueba el Plan Técnico Nacional de la TDT y se regulan determinados aspectos para la liberación del Dividendo Digital. Plan de Actuaciones para la liberación del Dividendo Digital*. Gobierno de España. Recuperado de: <http://www.minetur.gob.es/es-es/gabineteprensa/notaspress/2014/documents/presentaci%C3%B3n%20dividendo%20digital.pdf>

Ministerio de Industria, Energía y Turismo. (2014). *Real Decreto 805/2014 por el que se aprueba el Plan Técnico Nacional de la Televisión Digital Terrestre y se regulan determinados aspectos para la liberación del Dividendo Digital*. Gobierno de España. Recuperado de: <http://www.boe.es/boe/dias/2014/09/24/pdfs/BOE-A-2014-9667.pdf>

Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Secretaría de Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de la Información. Consejo Asesor de las Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información. Comisión permanente. (2014). *Proyecto de Real Decreto por el que se aprueba el Plan Técnico Nacional de la Televisión Digital Terrestre y se regulan determinados aspectos para la liberación del Dividendo Digital*. Gobierno de España. Recuperado de: <http://www.coettc.com/docs/noticias/tdt.pdf>

Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Secretaría de Estado de Telecomunicaciones y

para la Sociedad de la Información. (2015). *Informe: Cobertura de Banda Ancha en España en el primer trimestre de 2015*. Gobierno de España. Recuperado de: <http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/banda-ancha/cobertura/Documents/cobertura-BA-1trimestre2015.pdf>

Ley 57/2007, de 28 de diciembre, de Medidas de Impulso de la Sociedad de la Información. Jefatura del Estado. Gobierno de España. BOE-A-2007-22440. Recuperado de: <http://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-22440>

Ley 7/2010, de 31 de marzo, General de la Comunicación Audiovisual. Jefatura del Estado. Gobierno de España. BOE-A-2010-5292. Recuperado de: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2010-5292

Unión Internacional de las Telecomunicaciones. (1993). *Final Acts of the Additional Plenipotentiary Conference. Constitution and Convention of the International Telecommunication Union. Optional Protocol Resolutions Recommendation*. United Nations. Recuperado de: http://www.itu.int/dms_pub/itu-s/oth/02/09/S020900000C5201PDFE.PDF

Unión Internacional de las Telecomunicaciones. (1994). *Recommendation ITU-R M.1036. Spectrum Considerations for Implementation of International Mobile Telecommunications 2000 (IMT-2000) in the bands 1885-2025 MHz and 2110-2200 MHz*. United Nations. Recuperado de: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1036-0-199403-S!!PDF-E.pdf

Unión Internacional de las Telecomunicaciones. (1997). *Recommendation ITU-R M.1073-1. Digital Cellular Land Mobile Telecommunications Systems*. United Nations. Recuperado de: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1036-0-199403-S!!PDF-E.pdf

Unión Internacional de las Telecomunicaciones. (1997). *Recommendation ITU-R M.687.2. International Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000)*. United Nations. Recuperado de: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.687-2-199702-I!!PDF-E.pdf

Unión Internacional de las Telecomunicaciones. (1999). *Collection of the basic texts of the International Telecommunication Union adopted by the Plenipotentiary Conference*. United Nations. Recuperado de: http://www.itu.int/aboutitu/Basic_Text_ITU-e.pdf

Unión Internacional de las Telecomunicaciones. (2000). *Draft New Recommendation ITU-R BS. [DOC.6/63]. System for Digital Sound Broadcasting in the Broadcasting Bands Below 30 MHz*. United Nations. Recuperado de: http://www.nrscstandards.org/DRB/Non-NRSC%20reports/063e_ww9.pdf

Unión Internacional de las Telecomunicaciones. (2000). *Recomendación UIT-R M.1457. Especificaciones Detalladas de las Interfaces Radioeléctricas de las Telecomunicaciones Móviles Internacionales-2000 (IMT-2000)*. United Nations. Recuperado de: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1457-0-200005-S!!PDF-S.pdf

Unión Internacional de las Telecomunicaciones. (2001). *Recomendación UIT-R BO.1130-4 (04/2001). Sistemas de radiodifusión digital por satélite para receptores instalados en vehículos, portátiles y fijos en las bandas atribuidas al servicios de radiodifusión (sonora) por satélite en la gama de frecuencias 1400-2700 MHz*. United Nations. Recuperado de: <http://www.itu.int/rec/R-REC-BO.1130-4-200104-I>

- Unión Internacional de las Telecomunicaciones. (2003). *Informe UIT-R M.2031. Compatibilidad entre enlaces descendentes del sistema WCDMA 1800 y enlaces ascendentes del sistema GSM 1900*. United Nations. Recuperado de: http://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2031-2003-PDF-S.pdf
- Unión Internacional de las Telecomunicaciones. (2005). *ITU-T Recommendation H.263. H.263 (01/2005). Series H: Audiovisual and Multimedia Systems. Infrastructure of audiovisual services – Coding of moving video. Video coding for low bit rate communication*. United Nations. Recuperado de: <https://www.itu.int/rec/T-REC-H.263-200501-I/en>
- Unión Internacional de las Telecomunicaciones. (2007). *ITU-R M.1036-3. Disposiciones de frecuencias para la implementación de la componente terrenal de las telecomunicaciones móviles internacionales-2000 (IMT-2000) en las bandas* 806-960 MHz**, 1 710-2 025 MHz, 2 110-2 200 MHz y 2 500-2 690 MHz. (Cuestión UIT-R 229/8). (1994, 1999, 2003 y 2007)*. United Nations. Recuperado de: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1036-3-200707-S!!PDF-S.pdf
- Unión Internacional de las Telecomunicaciones. (2008). *Report ITU-R M.2134. Requirements related to technical performance for IMT-Advanced radio interface(s)*. United Nations. Recuperado de: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2134-2008-PDF-E.pdf
- Unión Internacional de las Telecomunicaciones. (2009). *Different Technologies and Delivery Systems of Digital TV and radio Broadcasting*. United Nations. Recuperado de: https://www.itu.int/ITU-D/tech/events/2009/RDF_ARB/Presentations/Session9/RDF09_ARB_Presentation_MMGhommam.pdf
- Unión Internacional de las Telecomunicaciones. (2009). *Report ITU-R M.2135-1 (12/2009). Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-Advanced*. United Nations. Recuperado de: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2135-1-2009-PDF-E.pdf
- Unión Internacional de las Telecomunicaciones. (2010). *Introducing ISDB T-mm mobile multimedia broadcasting system*. United Nations. Recuperado de: https://www.itu.int/ITU-D/asp/CMS/Events/2011/DigitalBroadcast-May2011/S3_Japan.pdf
- Unión Internacional de las Telecomunicaciones. (2011). *Recommendation ITU-R BT.601-7. Studio encoding parameters of digital television for standard 4:3 and wide-screen 16:9 aspect ratios*. United Nations. Recuperado de: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bt/R-REC-BT.601-7-201103-I!!PDF-E.pdf
- Unión Internacional de las Telecomunicaciones. (2012). *CoE/ARB Workshop On. “Transition from Analog to Digital (Digital Terrestrial Television: Trends, Implementation & Opportunities). Session 2. Network planning aspects: New Generation of DTV: DVB-T, DVB-T2 and DVB-T2 Lite*. United Nations. Recuperado de: <https://www.itu.int/ITU-D/arb/COE/2012/DTV/documents/doc2.pdf>
- Unión Internacional de las Telecomunicaciones. (2012). *ITU-AIDB-ABU Regional Workshop on Digital Broadcasting: Opportunities, Business and Challenges. Bangkok, Thailand, 26-28May 2012. Session 3: Transition to Digital Terrestrial Television Broadcasting – Case Studies. Overview on ITU Transition to DTTB model supported by progress on*

specific cases from countries. United Nations. Recuperado de: https://www.itu.int/ITU-D/asp/CMS/Events/2012/digitalbroadcasting/S3_Colin_Knowles_Part1.pdf

Unión Internacional de las Telecomunicaciones. (2012). *ITU-R M.1036-4 (03/2012). Frequency arrangements for implementation of the terrestrial component of International Mobile Telecommunications (IMT) in the bands identified for IMT in the Radio Regulations (RR)*. United Nations. Recuperado de: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1036-4-201203-I!!PDF-E.pdf

Unión Internacional de las Telecomunicaciones. (2012). *Measuring the Information Society*. United Nations. Recuperado de: http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/publications/mis2012/MIS2012_without_Annex_4.pdf

Unión Internacional de las Telecomunicaciones. (2012). *Recommendation ITU-R BT.2016. (04/2012). Error-correction, data framing, modulation and emission methods for terrestrial multimedia broadcasting for mobile reception using handheld receivers in VHF/UHF bands*. United Nations. Recuperado de: www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bt/R-REC-BT.2016-0-201204-S!!MSW-E.docx+&cd=4&hl=es&ct=clnk&gl=es

Unión Internacional de las Telecomunicaciones. (2012). *Reglamento de Radiocomunicaciones. Recomendaciones UIT-R incorporadas por referencia*. United Nations. Recuperado de: http://www.itu.int/dms_pub/itu-s/oth/02/02/S02020000244504PDFS.PDF

Unión Internacional de las Telecomunicaciones. (2013). *ICT Facts & Figures. The World in 2013*. United Nations. Recuperado de: <http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/facts/ICTFactsFigures2013-e.pdf>

Unión Internacional de las Telecomunicaciones. (2013). *Measuring the Information Society*. United Nations. Recuperado de: https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/publications/mis2013/MIS2013_without_Annex_4.pdf

Unión Internacional de las Telecomunicaciones. (2013). *Trends in Broadcasting: An Overview of Developments*. United Nations. Recuperado de: <http://www.itu.int/en/ITU-D/Technology/Documents/Broadcasting/TrendsinBroadcasting.pdf>

Unión Internacional de las Telecomunicaciones. (2014). *ICT Facts & Figures. The World in 2014*. United Nations. Recuperado de: <http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/facts/ICTFactsFigures2014-e.pdf>

Unión Internacional de las Telecomunicaciones. (2014). *ITU-T. Telecommunication standardization sector of ITU. H.264 (02/2014). Series H: Audiovisual and Multimedia Systems. Infrastructure of audiovisual services – Coding of moving video. Advanced video coding for generic audiovisual services. Recommendation ITU-T H.264*. United Nations. Recuperado de: <http://www.itu.int/rec/T-REC-H.264-201402-I>

Unión Internacional de las Telecomunicaciones. (2015). *ICT Facts & Figures. The World in 2015*. United Nations. Recuperado de: <http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/facts/ICTFactsFigures2015.pdf>

Unión Internacional de las Telecomunicaciones. (2015). *ITU-T Telecommunication standardization sector of ITU. H.265 (04/2015). Series H: Audiovisual and Multimedia Systems. Infrastructure of audiovisual services – Coding of moving video. High efficiency video coding. Recommendation ITU-T H.265*. United Nations. Recuperado

de: <http://www.itu.int/rec/T-REC-H.265-201504-I>

Unión Internacional de las Telecomunicaciones. (2015). *Recommendation ITU-R BT 709.6. Parameter Values for the HDTV standards for production and international programme exchange*. United Nations. Recuperado de: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bt/R-REC-BT.709-6-201506-I!!PDF-E.pdf

PUBLICACIONES DE LA INDUSTRIA

3GPP. (1999). *Harmonized Global 3G (G3G) Technical Framework for ITU IMT-2000 CDMA Proposal*. Recuperado de: http://www.3gpp.org/ftp/tsg_t/tsg_t/tsgt_04/docs/pdfs/TP-99135.pdf

3GPP. (2003). *Overview of 3GPP Release 5. Summary of all Release 5 Features. Version 0.10*. Recuperado de: http://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/TSG_RAN/TSGR_20/Docs/PDF/RP-030375.pdf

3GPP. (2009). *LTE-Advanced (3GPP Release 10 and beyond) –RF aspects-*. Recuperado de: ftp://www.3gpp.org/workshop/2009-12-17_ITU-R_IMT-Adv_eval/docs/pdf/REV-090006.pdf

3GPP. (2009). *Proposal for Candidate Radio Interface Technologies for IMT-Advanced based on LTE Release 10 and Beyond (LTE Advanced)*. Recuperado de: http://www.3gpp.org/IMG/pdf/2009_10_3gpp_IMT.pdf

3GPP. (2010). *Overview of 3GPP Release 1999 V0.1.1 (2010-02)*. Recuperado de: http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases/

3GPP. (2010). *Overview of 3GPP Release 4 V1.1.2 (2010-02)*. Recuperado de: http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases/

3GPP. (2010). *Overview of 3GPP Release 5 V0.1.1 (2010-02)*. Recuperado de: http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases/

3GPP. (2010). *Overview of 3GPP Release 6 V0.1.1 (2010-02)*. Recuperado de: http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases/

3GPP. (2011). *3GPP TS 26.234 V10.3.0 (2011-11). Technical Specification. 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Transparent end-to-end Packet-switched Streaming Service (PSS); Protocols and codecs (Release 10)*. Recuperado de: <http://www.qtc.jp/3GPP/Specs/26234-a30.pdf>

3GPP. (2012). *Overview of 3GPP Release 7 V0.9.16 (2012-01)*. Recuperado de: http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases/

3GPP. (2013). *LTE Release 12 and Beyond*. 3GPP. Recuperado de: http://www.3gpp.org/IMG/pdf/lte_africa_2013_3gpp_lte_release_12.pdf

3GPP. (2014). *Overview of 3GPP Release 8 V0.3.3 (2014-09)*. Recuperado de: http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases/

3GPP. (2014). *Overview of 3GPP Release 9 V0.3.4 (2014-09)*. Recuperado de: http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases/

3GPP. (2014). *Overview of 3GPP Release 10 V0.2.1 (2014-06)*. Recuperado de:

http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases/

3GPP. (2014). *Overview of 3GPP Release 11 V0.2.0 (2014-09)*. Recuperado de: http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases/

3GPP. (2014). *Overview of 3GPP Release 12 V0.1.4 (2014-09)*. Recuperado de: http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases/

3GPP. (2014). *Overview of 3GPP Release 13 V0.0.6 (2014-06)*. Recuperado de: http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases/

3GPP. (2014). *Overview of 3GPP Release 14 V0.0.1 (2014-09)*. Recuperado de: http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases/

3GPP. (2014). *WLAN interworking with a 3GPP system V0.0.4 (2014-06)*. Recuperado de: http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases/

4G Americas. (2015). *Understanding 3GPP release 12: Standards for HSPA+ and LTE Enhancements*. 3GPP. Recuperado de: http://www.4gamericas.org/files/6614/2359/0457/4G_Americas_-_3GPP_Release_12_Executive_Summary_-_February_2015.pdf

Adobe. *Macromedia Flash. Getting Started with Flash Lite 2.x 8*. Recuperado de: <https://www.adobe.com/support/documentation/en/flashlite/documentation.html>

Adobe. (2008). *Qualcomm and Adobe Collaborate To Empower Developer Ecosystem With BREW Mobile Platform*. Recuperado de: https://www.adobe.com/opensourceproject/whatsnew/pdfs/052808adobequalcomm_finalpressrelease.pdf

Advanced Television Systems Committee. (2011). *ATSC Standard for Transmitter Synchronization*. Recuperado de: <http://atsc.org/wp-content/uploads/2015/03/Transmitter-Synchronization.pdf>

Advanced Television Systems Committee. (2011). *Final Report on ATSC 3.0 Next Generation Broadcast Television*. Recuperado de: <http://atsc.org/wp-content/uploads/2015/04/PT2-046r11-Final-Report-on-NGBT.pdf>

Advanced Television Systems Committee. (2012). *ATSC Standard: Digital Audio Compression (AC-3, E-AC-3)*. Recuperado de: <http://atsc.org/wp-content/uploads/2015/03/A52-201212-17.pdf>

Advanced Television Systems Committee. (2013). *ATSC Mobile DTV Standard: A/153 Part 1, ATSC Mobile DTV System (A/153 Part 1:2013)*. Recuperado de: <http://atsc.org/wp-content/uploads/2015/03/A153-Part-1-2013.pdf>

Advanced Television Systems Committee. (2013). *ATSC Recommended Practice: Guide to the ATSC Mobile DTV Standard*. Recuperado de: http://atsc.org/wp-content/uploads/2015/03/Guide-to-the-ATSC-mobile-dtv.pdf?zoom_highlight=activity+2013

Advanced Television Systems Committee. (2014). *ATSC Standard A/72 Part 2 AVC Video Transport Subsystem Characteristics*. Recuperado de: <http://atsc.org/wp-content/uploads/2015/03/A72-Part-2-2014.pdf>

Advanced Television Systems Committee. (2014). *ATSC Standard: Video and Transport Subsystem Characteristics of MVC for 3D-TV Broadcast in the ATSC Digital Television*

- System*. Recuperado de: <http://atsc.org/wp-content/uploads/2015/03/A72-Part-3-2014.pdf>
- Advanced Television Systems Committee. (2014). *Next Generation Television: ATSC 3.0*. Recuperado de: http://s3.amazonaws.com/sdieee/1776-SanDiego_ATSC3_Overview_Chernock.pptx.pdf
- Advanced Television Systems Committee. (2015). *ATSC Standard A/72 Part 1 – Video System Characteristics of AVC in the ATSC Digital Television System*. Recuperado de: <http://atsc.org/wp-content/uploads/2015/03/A72-Part-1-2015.pdf>
- Advanced Television Systems Committee. (2015). *Next generation DTV: ATSC 3.0*. Recuperado de: http://www.itu.int/en/ITU-R/GE06-Symposium-2015/Session4/402%20%20Richer_ATSC%203_ITU%20Symp.pdf
- Alcatel-Lucent. (2013). *eMBMS*. Recuperado de: http://www.pscr.gov/projects/broadband/700mhz_demo_net/meetings/stakeholder_mtg_062013/slides/day_3/Jun6-Brouwer-Adhoc_Net_Arch-eMBMS.pdf
- Audio Video coding Standard Workgroup of China. (2004). *AVS –The Chinese-Next Generation Video Coding Standard*. AVS. Recuperado de: <http://www.avs.org.cn/reference/AVS%20NAB%20Paper%20Final03.pdf>
- BBC. (2012). *System aspects of DVB-T2 for frequency & network planning*. Recuperado de: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/oth/0A/07/R0A070000270001PDFE.pdf
- Broadcast Mobile Convergence Forum. (2009). *Bmcoforum Recommendation for Implementation Profile. OMA BCASST System Adaptation: IPDC over DVB-H*. Recuperado de: http://www.oipf.tv/docs/bmco/OIPF-BMCO-OMA_BCASST_System_Adaptation_IPDC_over_DVB-H--2011-04-19.PDF
- China Broadcasting Corporation (CBC). (2011). *CMMB China Multimedia Broadcasting*. Recuperado de: https://www.itu.int/ITU-D/asp/CMS/Events/2011/DigitalBroadcast-May2011/S3_China.pdf
- Digital Video Broadcasting. (2011). *Internet Protocol Datacast. Complete Specifications for the Delivery of Mobile TV Services. DVB IPDC*. Recuperado de: https://www.dvb.org/resources/public/factsheets/DVB-IPDC_Factsheet.pdf
- Digital Video Broadcasting. (2012). *Digital Video Broadcasting (DVB); Next Generation broadcasting system to Handheld, physical layer specification (DVB-NGH). DVB Document A160*. Recuperado de: https://www.dvb.org/resources/public/standards/A160_DVB-NGH_Spec.pdf
- Digital Video Broadcasting. (2015). *DVB-T2. 2nd Generation Terrestrial. The World's Most Advanced Digital Terrestrial TV System*. Recuperado de: https://www.dvb.org/resources/public/factsheets/dvb-t2_factsheet.pdf
- Digital Video Broadcasting. DVB Scene (2013). *20 Years (1993-2013) Delivering the Digital Standard*. Recuperado de: <https://www.dvb.org/resources/public/scene/DVB-SCENE42.pdf>
- GSM Association. (2005). *Video Telephony Interoperability. Video Telephony Circuit Switched Implementation Guidelines. Version 1.0. 14 June 2005*. Recuperado de: http://www.binyahya.com/books/book_manager/wp-content/uploads/2011/02/vedio-telephony-circuit-

switch.pdf

- GSM Association. (2014). *The Mobile Economy 2014*. Recuperado de:
http://www.gsamobileeconomy.com/GSMA_ME_Report_2014_R2_WEB.pdf
- GSM Association. (2014). *The Mobile Economy 2014. Europe 2014*. Recuperado de:
http://gsamobileeconomyeurope.com/GSMA_ME_Europe_2014_read.pdf
- GSM Association. *GSMA: The Impact of the Internet of Things. The Connected Home*.
 Recuperado de: <http://www.gsma.com/newsroom/wp-content/uploads/15625-Connected-Living-Report.pdf>
- Electronics and Telecommunications Research Institute. (2009). *Design of AT-DMB Baseband Receiver SoC*. Recuperado de:
<https://etrij.etri.re.kr/etrij/journal/getPublishedPaperFile.do%3FfileId%3DSPF-1259560806503+&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=es>
- Electronics and Telecommunications Research Institute. (2011). *Overview of T-DMB/ATSC*.
 Recuperado de: https://www.itu.int/ITU-D/asp/CMS/Events/2011/DigitalBroadcast-May2011/S3_ETRI.pdf
- Ericsson. (2003). *Ericsson Seamless Network Concept and Strategy*. Recuperado de:
https://www.itu.int/ITU-D/tech/events/2003/Qatar2003/Presentations/Day%201/1.5.1_Presentation.pdf
- Ericsson. *Evolution of LTE towards IMT-Advanced*. Recuperado de:
<http://www.ericsson.com/res/docs/2013/evolution-of-lte-towards-imt-advanced.pdf>
- EURECOM. (2013). *Service Continuity for eMBMS in LTE-LTE-Advanced Network: Standard Analysis and Supplement*. Recuperado de:
<http://www.eurecom.fr/fr/publication/4193/download/cm-publi-4193.pdf>
- Hong Kong Applied Science and Technology Research Institute. (2009). *White Paper on Latest Development of Digital Terrestrial Multimedia Broadcasting (DTMB) Technologies*. Recuperado de: http://www.astri.org/files.filemanager/pdf/en/technologies/ct/CT_JL-White_Paper_072709_DTMB.pdf
- Institute of Communications Engineering. *WCDMA System Overview*. Recuperado de:
<http://wits.ice.nsysu.edu.tw/course/pdfdownload/963G/3G-05-Oveview%20of%20WCDMA.pdf>
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (1999). *IMT-2000 Standardization*.
 Recuperado de: http://www.ieee802.org/16/tg1/phy/contrib/80216pc-99_05.pdf
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2002). *IEEE Standard 802.16: A Technical Overview of the WirelessMANTM Air Interface for Broadband Wireless Access*.
 Recuperado de: http://www.ieee802.org/16/docs/02/C80216-02_05.pdf
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2010). *Overview of IEEE P802.16m Technology and Candidate Rit for IMT-Advanced*. Recuperado de:
http://www.3gpp.org/ftp/workshop/temp/L80216-10_0002.pdf
- Intel. *Mobile WiMAX Update and IEEE 802.16m*. Recuperado de:
http://www.comsocscv.org/docs/Talk_032509_WiMAXUpdate.pdf
- Keithley. (2004). *An Introduction to Orthogonal Frequency Division Multiplex Technology*.
 Recuperado de:

http://www.ieee.li/pdf/viewgraphs/introduction_to_orthogonal_frequency_division_multiplex.pdf

Korea Electronics Technology Institute. (2011). *T-DMB Technology Overview*. Recuperado de: http://www.mastel.or.id/files/T-DMB_Technology_20111129.pdf

National Association of Broadcasters. (2014). “ATSC 3.0”, *The Next Generation Broadcast Television System*. Recuperado de: http://www.set.org.br/artigos/ed144/144_revistadaset_98.pdf

NHK. (2008). *Internationalization of the Japanese Digital Terrestrial Television Broadcasting System, ISDB-T. From development of the transmission system to its adoption in Brazil*. Recuperado de: <https://www.nhk.or.jp/str/publica/bt/en/fe0033-2.pdf>

NHK. (2008). *ISDB-T Transmission Technologies and Emergency Warning System*. Recuperado de: http://www.dibeg.org/news/2008/0802Peru_ISDB-T_seminar/persentation2.pdf

NHK. *The ISDB-T System*. Recuperado de: http://www.itu.int/ITU-D/tech/OLD_TND_WEBSITE/digital-broadcasting_OLD/kyiv/Presentations/saito/ITU%20Seminar%20ISDB-T%20001108.pdf

Nokia Siemens Network. (2012). *Long Term HSPA Evolution meets ITU IMT-Advanced requirements*. Recuperado de: http://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=0CEUQFjAE&url=http%3A%2F%2Fnetworks.nokia.com%2Fsystem%2Ffiles%2Fdocument%2Fnokia_siemens_networks_long_term_hspa_evolution_meets_itu_imt-advanced_requirements_18_04_12_online.pdf&ei=BeigVebrKYn9UqzHgagH&usg=AFQjCNHN0doCGKrFHqLhJJynfj-DK9A0rA

Open Mobile Alliance. (2003). *MMS Conformance Document 1.2. Candidate Version 29-September-2003*. Recuperado de: http://technical.openmobilealliance.org/Technical/release_program/docs/MMS/V1_2-20030923-C/OMA-MMS-CONF-V1_2-20030929-C.pdf

Oracle. (2012). *The Java ME 8 Platform. Technical Presentation*. Recuperado de: <http://www.oracle.com/technetwork/cn/community/developer-day/3-javame8-introduced-1902116-zhs.pdf>

Oracle. *Java. A Beginner's Guide*. Recuperado de: <http://www.oracle.com/events/global/en/java-outreach/resources/java-a-beginners-guide-1720064.pdf>

Qualcomm. (2012). *LTE eMBMS Technology Overview*. Recuperado de: https://s3.amazonaws.com/sdieee/222-eMBMS_tech_overview_IEEE_112712.pdf

Qualcomm. *MediaFLO Technology – Making Mobile Mass Multimedia “A Reality”*. Recuperado de: ftp://ftp.3gpp2.org/Archive/Work_Shops/2005-02_cdma2000-Workshop-India/FLO%20-%20CDG%20Talk%2023rd%20Feb%202005%20ver%202.pdf

Research and Studies Telecommunications Centre. (2010). *ITU/BDT Arab Regional Workshop on “4G Wireless Systems” LTE Technology. Session 1: Evolution path towards 4G. Technology Evolution and Regulation*. Recuperado de: http://www.itu.int/ITU-D/arb/COE/2010/4G/Documents/Doc2-LTE%20Workshop_TUN_Session1_Evolution%20path%20towards%204G.pdf

Research and Studies Telecommunications Centre. (2010). *ITU/BDT Arab Regional Workshop on “4G Wireless Systems” LTE Technology. Session 3: LTE Overview – Design Targets and Multiple Access Technologies*. Recuperado de: http://www.itu.int/ITU-D/arb/COE/2010/4G/Documents/Doc3-LTE%20Workshop_TUN_Session3_LTE%20Overview%20Design%20Targets%20and%20Multiple%20Access%20Technologies.pdf

D:/arb/COE/2010/4G/Documents/Doc4-LTE%20Workshop_TUN_Session3_LTE%20Overview.pdf

Siemens. *An Introduction to IEEE 802.16(e)*. Recuperado de:
<https://www.ietf.org/proceedings/64/slides/16ng-11.pdf>

Society of Motion Picture and Television Engineers. (2011). *VC-1 Compressed Video Bitstream Format and Decoding Process – Amendment 2*. Recuperado de:
<https://www.smpte.org/sites/default/files/st0421-A2-2011.pdf>

Telecommunication Engineering Center. *1G to 4G Overview*. Recuperado de: <http://www.itu-apt.org/ngnrm/rajeevbansal2.pdf>

Toshiba. (2007). *ISDB-T Fixed & One-Seg Receivers/Broadcasting Station Facility*. Recuperado de:
http://www.dibeg.org/news/previous_doc/0707_2seminar_in_Venezuela/presentation5.pdf

UMTS Forum. (2003). *Global Standardisation. Key to the success of Third Generation Mobile. A UMTS Forum industry perspective*. Recuperado de: https://www.itu.int/itudoc/itu-t/ifs/072003/pres_org/umts.pdf

Universidad Politécnica de Valencia. iTEAM. (2011). *DVB-NGH. Next Generation Handheld*. Recuperado de:
http://www.tecnalia.com/images/stories/H&W_02b_FututoTelevisiónMovilidad_DVBNGH_DavidGozalvez_iTeam.pdf

WiMAX Forum. (2006). *Mobile WiMAX – Part 1: A Technical Overview and Performance Evaluation*. Recuperado de:
http://www.wimaxforum.org/news/downloads/Mobile_WiMAX_Part1_Overview_and_Performance.pdf

World Wide Web Consortium (W3C). (2002). *SMIL – An Introduction*. Recuperado de:
<http://www.w3.org/2002/05/siggraph-smil-abstract.pdf>

World Wide Web Consortium (W3C). (2011). *Scalable Vector Graphics (SVG) 1.1 Second Edition. W3C Recommendation 16 August 2011*. Recuperado de:
<http://www.w3.org/TR/SVG/REC-SVG11-20110816.pdf>

World Wide Web Consortium (W3C). *SVG Tutorial*. Recuperado de:
<http://www.w3.org/2002/Talks/www2002-svgtut-ih/hwtut.pdf>

INFORMES Y ANUARIOS

AT&T. (2014). *Mobilizing your world. AT&T INC. 2014 Annual Report*. Recuperado de:
http://www.att.com/Investor/ATT_Annual/2014/downloads/att_ar2014_annualreport.pdf

Business Insider. (2015). *The Global Smartphone Report*. Recuperado de:
<http://www.businessinsider.com/global-smartphone-market-forecast-vendor-platform-growth-2015-6>

Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones (2009). *Informe Anual 2009*. Recuperado de:
<http://www.cnmc.es/Portals/0/Ficheros/Telecomunicaciones/Informes/INFORME%20ANUAL%20CMT%202009.pdf>

Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia. (2012). *Informe Económico Sectorial 2012*. Recuperado de:

<http://www.cnmc.es/Portals/0/Ficheros/Telecomunicaciones/Informes/Informe%20Economico%20Sectorial%202012.pdf>

Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia. (2012). *Memoria Anual de Actividades 2012*. Recuperado de: <http://www.cnmc.es/Portals/0/Ficheros/Telecomunicaciones/Informes/Memoria%20Anual%20de%20actividades%202012.pdf>

Doordarshan. (2011). *Doordarshan Kendra Mumbai Annual Report 2010-2011*. Recuperado de: <http://www.ddkmumbai.org/wp-content/uploads/2011/07/DDK-MUMBAI-%28Annual%20Report%202010-11%29.pdf>

Ericsson. (2015). *Ericsson Mobility Report 2015. On the Pulse of the Networked Society*. Recuperado de: <http://www.ericsson.com/res/docs/2015/ericsson-mobility-report-june-2015.pdf>

NHK (2015). *Annual Report 2015-2016*. Recuperado de: http://www.nhk.or.jp/corporateinfo/english/publication/pdf/annual_report.pdf

NTT DoCoMo. (2014). *Annual Report 2014. Well-Grounded Strategy*. Recuperado de: https://www.nttdocomo.co.jp/english/corporate/ir/binary/pdf/library/annual/fy2013/docomo_ar2014_e.pdf

RNCOS Business Consultancy Services. (2012). *Global Mobile TV Forecast to 2013*. Recuperado de: <http://www.rncos.com/Market-Analysis-Reports/Global-Mobile-TV-Forecast-to-2013-IM194.htm>

Samsung. (2013). *2013 Samsung Electronics Annual Report*. Recuperado de: http://www.samsung.com/us/aboutsamsung/investor_relations/financial_information/downloads/2013/2013-samsung-electronic-report.pdf

Verizon. (2014). *2014 Annual Report*. Recuperado de: http://www.verizon.com/about/sites/default/files/2014_vz_annual_report.pdf

TESIS DOCTORALES

García García, A. L. (2000). *Realidad Virtual*. (Tesis doctoral). Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de: <http://biblioteca.ucm.es/tesis/inf/ucm-t24498.pdf>

Martín Moraleda, I. J. (2013). *Estudio y prospectiva de la Televisión Interactiva en España*. (Tesis doctoral). Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de: <http://eprints.ucm.es/19950/1/T34295.pdf>

Martín Pérez, M. A. (2010). *Un modelo de desarrollo de TDT en España sin experiencia analógica: VEO Televisión*. (Tesis doctoral). Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de: <http://eprints.ucm.es/11394/1/T32386.pdf>

Urquiza García, R. (2009). *Televisión Digital Terrestre en Europa y Estados Unidos: Una comparativa entre modelos de negocio*. (Tesis doctoral). Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de: <http://eprints.ucm.es/9573/1/T30828.pdf>